



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

Comparação da rigidez dos músculos da panturrilha e do tendão de Aquiles entre triatletas e indivíduos fisicamente ativos: Um estudo transversal utilizando elastografia por onda de cisalhamento.

ESTEVÃO DE SOUZA DINIZ

BRASÍLIA - DF / 2024



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

Comparação da rigidez dos músculos da panturrilha e do tendão de Aquiles entre triatletas e indivíduos fisicamente ativos: Um estudo transversal utilizando elastografia por onda de cisalhamento.

ESTEVÃO DE SOUZA DINIZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cassia Marqueti Durigan

Apoio financeiro: CAPES, CNPq e FAPDF

BRASÍLIA - DF / 2024

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

dD585c de Souza Diniz, Estevão
COMPARAÇÃO DA RIGIDEZ DOS MÚSCULOS DA PANTURRILHA E DO
TENDÃO DE AQUILES ENTRE TRIATLETAS E INDIVÍDUOS FISICAMENTE
ATIVOS: UM ESTUDO TRANSVERSAL UTILIZANDO ELASTOGRAFIA POR
ONDA DE CISALHAMENTO / Estevão de Souza Diniz; orientador
Rita de Cassia Marqueti Durigan. -- Brasília, 2024.
77 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) --
Universidade de Brasília, 2024.

1. Triatlo. 2. Músculos da panturrilha. 3. Esportes de
resistência. 4. Adaptações musculotendíneas. 5.
Ultrassonografia. I. de Cassia Marqueti Durigan, Rita,
orient. II. Título.

MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Rita de Cássia Marqueti Durigan

(Presidente)

(Universidade de Brasília – UnB)

Prof. Dr. Bruno Manfredini Baroni

(Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre - UFCSPA)

Prof. Dr. Amilton Vieira

(Universidade de Brasília - UnB)

Prof. Dra. Elaine Cristina Leite Pereira

Suplente

(Universidade de Brasília - UnB)

BRASÍLIA – DF / 2024

*Sucesso é encontrar aquilo que se tenciona ser e depois
fazer o que é necessário para isso.*

Epicteto

Dedico este trabalho...

Aqueles que mais amo:

Dedico este trabalho aos meus pais, Denis e Mirtes, que sempre me guiaram com amor e sabedoria. Vocês me ensinaram valores fundamentais e me transformaram no homem que sou hoje. Sou profundamente grato pelo apoio e pelo exemplo de vida que vocês me deram.

Aos meus filhos, Cauã e Mariana, que são a alegria da minha vida. Seus sorrisos e abraços me enchem de energia e motivação todos os dias. Vocês são minha maior inspiração, e este trabalho é fruto da dedicação que vocês me inspiram a ter.

À minha esposa, Odilia, minha companheira e força que mantém nosso lar em equilíbrio. Seu amor e apoio foram essenciais em cada etapa desta jornada. Sou imensamente grato por tê-la ao meu lado, compartilhando cada conquista.

Este trabalho é uma prova do quanto vocês significam para mim e do amor que me impulsiona a alcançar sempre mais.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a Dra. **Rita de Cássia Marqueti Durigan**, minha gratidão eterna pela confiança depositada em mim e em nossa ideia que originou este estudo. Sua paciência e orientação exemplar foram fundamentais em cada etapa deste processo. Agradeço profundamente por todos os ensinamentos que me proporcionou e por ter me guiado com tanto cuidado, paciência e dedicação. Sou imensamente grato por ter tido a oportunidade de aprender com você, professora, e espero continuar contando com sua sabedoria em minha trajetória profissional.

Aos professores colaboradores que tanto enriqueceram este trabalho com seu conhecimento e experiência. Em especial, ao Prof. Dr. **José Roberto Júnior**, cujas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste artigo. Sua expertise foi um pilar importante para que este estudo alcançasse seus objetivos. Agradeço pela disposição em compartilhar seu saber e por todo o apoio durante essa jornada acadêmica.

Aos meus colegas de mestrado, **Leandro Gomes Ferreira** e **Pedro Franz**, e aos alunos de iniciação científica do **Grupo de Pesquisa em Plasticidade Músculo-Tendínea (Gplast)** da Universidade de Brasília- UnB, meu sincero agradecimento pelo apoio constante. Vocês foram companheiros incansáveis durante a coleta de dados e no desenvolvimento deste estudo. A camaradagem e o espírito de colaboração que compartilhamos tornaram esta caminhada muito mais enriquecedora e gratificante. Tenho certeza de que nosso aprendizado conjunto vai além dos muros da universidade.

Aos participantes deste estudo, tanto os triatletas quanto o grupo controle, meu profundo agradecimento por dedicarem seu tempo e esforço em nome da ciência esportiva. Sem a disposição e a colaboração de cada um de vocês, este trabalho não teria sido possível.

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE ABREVIACÕES	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	13
CONTEXTUALIZAÇÃO	15
O QUE É O TRIATLO?	15
LESÕES NO TRIATLO.....	17
ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO HIERÁRQUICA DO MÚSCULO ESQUELÉTICO E TENDÕES.....	21
ELASTOGRAFIA POR ONDAS DE CISALHAMENTO (SWE) NA AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ MUSCULAR E TENDÍNEA	24
DIFERENÇAS SEXUAIS NO CONTEXTO ESPORTIVO.	26
OBJETIVOS:.....	29
HIPÓTESES:.....	29
MANUSCRITO.....	30
INTRODUCTION	32
METHODS.....	35
STUDY DESIGN	35
PARTICIPANTS	35
DATA COLLECTION	36
SAMPLE SIZE.....	39
STATISTICAL ANALYSIS	40
RESULTS.....	41
GENERAL DATA	41
TRIATHLON EXPERIENCE, TRAINING, AND COMPETITION CHARACTERISTICS.....	42
HISTORY OF ANKLE/FOOT AND KNEE PAIN AND INJURY DIAGNOSIS.....	43
MENSTRUAL CYCLE AND CONTRACEPTIVE USE IN FEMALE PARTICIPANTS	46
INTRA-EXAMINER RELIABILITY.....	47
DISCUSSION	52
CONCLUSION	57
FUNDING	57
ACKNOWLEDGEMENTS	57
REFERENCES	59
ANEXOS.....	70

RELAÇÃO DE ABREVIACÕES

- **ANOVA** - Analysis of Variance (Análise de Variância)
- **BMI** - Body Mass Index (Índice de Massa Corporal)
- **CAAE** - Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
- **CBTRI** - Confederação Brasileira de Triathlon
- **ECM** - Extracellular Matrix (Matriz Extracelular)
- **ESWT** - Extracorporeal Shock Wave Therapy (Terapia por Ondas de Choque Extracorpóreas)
- **FC** - Female Controls (Controles Femininos)
- **FT** - Female Triathletes (Triatletas Femininas)
- **IC** - Intervalo de Confiança
- **ITU** - International Triathlon Union
- **kPa** - Kilopascals
- **MC** - Male Controls (Controles Masculinos)
- **MT** - Male Triathletes (Triatletas Masculinos)
- **MVC** - Maximal Voluntary Contraction (Contração Voluntária Máxima)
- **ROI** - Regions of Interest (Regiões de Interesse)
- **SPSS** - Statistical Package for Social Sciences
- **STROBE** - Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology
- **SWE** - Shear Wave Elastography (Elastografia por Onda de Cisalhamento)
- **US** - Ultrasound (Ultrassonografia)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transducer positioning for the SWE evaluation of Achilles tendon and calf muscles.....	38
Figura 2. SWE image of the Achilles tendon and medial gastrocnemius muscle.....	39
Figura 3. Between-group differences in the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles.....	48
Figura 4. Between-group differences in the superficial, middle, and deep layers stiffness.....	49
Figura 5. Within-group differences in the superficial, middle, and deep layers stiffness.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Anthropometric characteristics, ankle function, and physical activity profile (n=42).....	42
Table 2. Experience, training, and competition characteristics in the triathletes (n=21).....	43
Table 3. History of ankle/foot and knee pain and injury diagnosis in participants (n=42).....	45
Table 4. Menstrual cycle characteristics and contraceptive methods among female participants (n=22).....	46
Table 5. Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for Achilles tendon and calf muscle stiffness (n=28).....	47

RESUMO

Introdução: A popularidade do triatlo é amplamente refletida em sua abrangência global, com mais de 120 federações nacionais e milhões de atletas envolvidos mundialmente. Entretanto, o crescimento dessa prática esportiva tem sido acompanhado por um aumento significativo nas lesões, especialmente a tendinopatia de calcâneo, que afeta entre 12% e 24% dos triatletas de longa distância e 7,7% dos de curta distância. Diante disso, é essencial compreender as adaptações morfológicas do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha para tratar adequadamente essa condição. **Objetivo:** O presente estudo tem como objetivo principal avaliar a rigidez do tendão calcâneo e do tríceps sural em triatletas e indivíduos fisicamente ativos, de ambos os sexos, considerando as possíveis adaptações decorrentes do treinamento de alta intensidade. Além disso, busca-se investigar as diferenças na rigidez das camadas superficial, média e profunda dos músculos da panturrilha entre esses grupos, bem como as variações dentro de cada grupo. **Métodos:** Foram analisados 42 participantes divididos em quatro grupos: 10 triatletas masculinos, 10 controles masculinos, 11 triatletas femininos e 11 controles femininos. A rigidez do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha foi avaliada por meio da elastografia por onda de cisalhamento (SWE). **Resultados:** Não foram encontradas diferenças entre os grupos na rigidez geral do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha. No músculo sóleo, a rigidez da camada superficial foi maior no grupo controle masculino em comparação com as triatletas femininas (MD = 6,13, IC 95% 1,18 – 11,08, $p = 0,002$). Além disso, a camada média foi mais rígida no grupo controle masculino em comparação com os triatletas masculinos (MD = 3,07, IC 95% 0,18 – 5,96, $p = 0,023$) e as triatletas femininas (MD = 3,05, IC 95% 0,13 – 5,96, $p = 0,028$). Por fim, a camada média foi mais rígida nos controles masculinos em comparação com as triatletas femininas (MD = 3,60, IC 95% 0,45 – 6,74, $p = 0,008$). As diferenças dentro dos grupos mostraram que a camada superficial apresentou maior rigidez do que as camadas média e profunda em todos os grupos e músculos. Notavelmente, no gastrocnêmio lateral, a camada profunda apresentou maior rigidez

em comparação com a camada média apenas para os controles femininos (MD = 1,06, IC 95% 0,09 – 2,03, p = 0,014). **Conclusão:** A prática do triatlo não afeta a rigidez geral do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha. No entanto, as diferenças entre as camadas superficial, média e profunda dos músculos enfatizam a importância de uma avaliação segmentada na SWE para identificar variações específicas entre essas camadas. Embora nossos achados não permitam estabelecer diretamente uma relação causal com adaptações ao treinamento ou suscetibilidade a lesões, estudos futuros poderão explorar melhor esses aspectos para entender suas implicações no desempenho e prevenção de lesões.

Palavras-chave: Triatlo, Músculos da panturrilha, Esportes de resistência, Camada Muscular, Adaptações musculotendíneas.

ABSTRACT

Introduction: The popularity of triathlon is reflected in its global reach, with over 120 national federations and millions of athletes participating worldwide. However, this growth has been accompanied by a notable increase in injuries, particularly Achilles tendinopathy. This condition affects 12–24% of long-distance triathletes and 7.7% of short-distance triathletes. Understanding the morphological adaptations of the Achilles tendon and calf muscles is crucial for addressing this issue. **Objective:** The primary objective of the present study is to evaluate the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles in triathletes and physically active individuals of both sexes, considering the possible adaptations resulting from high-intensity training. Additionally, it aims to investigate the differences in stiffness of the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles between these groups, as well as the variations within each group. **Methods:** Cross-sectional study with 42 participants, divided into four groups: 10 male triathletes, 10 male controls, 11 female triathletes, and 11 female controls. The stiffness of the Achilles tendon and calf muscles was assessed using shear-wave elastography (SWE). **Results:** No between-group differences were found for the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. In the soleus muscle, the stiffness of the superficial layer was greater in the male control group compared to female triathletes (MD = 6.13, 95% CI 1.18 – 11.08, $p = 0.002$). Also, the middle layer was greater in the male control group compared to the male triathletes (MD = 3.07, 95% CI 0.18 – 5.96, $p = 0.023$), and female triathletes (MD = 3.05, 95% CI 0.13 – 5.96, $p = 0.028$). Finally, the middle layer was greater in male controls compared to female triathletes (MD = 3.60, 95% CI 0.45 – 6.74, $p = 0.008$). Within-group differences showed that the superficial layer was generally stiffer than the middle and deep layers across all groups and muscles. Notably, in the lateral gastrocnemius, the deep layer showed greater stiffness compared to the middle layer only for female controls (MD = 1.06, 95% CI 0.09 – 2.03, $p = 0.014$). **Conclusion:** The practice of triathlon does not affect the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. However, the differences between the

superficial, middle, and deep muscle layers highlight the importance of a segmented assessment in SWE to identify specific variations among these layers. Although our findings do not allow us to directly establish a causal relationship with training adaptations or susceptibility to injuries, future studies may further explore these aspects to better understand their implications for performance and injury prevention.

Keywords: Triathlon, Calf muscles, Endurance sports, Muscle layer, Musculotendinous adaptations.

CONTEXTUALIZAÇÃO

O que é o Triatlo?

O triatlo é uma modalidade esportiva multidisciplinar que combina três disciplinas sequenciais: natação, ciclismo e corrida. Criado em 1974, na cidade de San Diego, Califórnia, o triatlo rapidamente cresceu em popularidade, culminando em sua inclusão como esporte olímpico nos Jogos de Sydney, em 2000 (Migliorini, 2020). Desde então, o triatlo tem atraído um número crescente de praticantes ao redor do mundo, com 120 federações nacionais filiadas à União Internacional de Triatlo (ITU - INTERNATIONAL TRIATHLON UNION, 2022). No Brasil, a primeira competição oficial foi realizada em 1983, no Rio de Janeiro, e o esporte tem experimentado uma expansão significativa desde então (CBTRI - Confederação Brasileira de Triathlon, 2018).

As competições de triatlo são divididas em várias distâncias, cada uma com exigências físicas distintas. As principais categorias incluem o Sprint/Short Triatlo (750 m de natação, 20 km de ciclismo e 5 km de corrida), o Triatlo Olímpico (1.500 m de natação, 40 km de ciclismo e 10 km de corrida), o Ironman 70.3 (1.900 m de natação, 90 km de ciclismo e 21 km de corrida) e o Ironman Full (3.800 m de natação, 180 km de ciclismo e 42 km de corrida) (Kennedy et al., 2020). Cada uma dessas distâncias requer adaptações específicas nos treinamentos e estratégias competitivas, devido às diferentes demandas biomecânicas, fisiológicas e teciduais impostas a cada segmento do evento (V. Vleck & Hoeden, 2020).

O número de praticantes de triatlo tem crescido substancialmente nas últimas décadas. Nos Estados Unidos, por exemplo, o número de triatletas aumentou de 0,98 milhão em 2006 para 4,04 milhões em 2017 (Statista Research Department, 2022). A mudança no perfil dos participantes também é marcante, com o aumento da participação de atletas mais velhos (acima de 40 anos) e

do sexo feminino (Piacentini et al., 2019). Em eventos globais como o Ironman World Championship, a participação feminina aumentou significativamente, refletindo a inclusão e acessibilidade crescentes do esporte para diferentes faixas etárias e gêneros (The IRONMAN Group, 2023). Esse aumento na diversidade de competidores promove um cenário mais inclusivo, mas também gera novas demandas de treinamento, especialmente quando se considera os impactos do envelhecimento no desempenho atlético (Piacentini et al., 2019).

As exigências físicas do triatlo variam conforme as distâncias, e cada uma das três modalidades (natação, ciclismo e corrida) impõe padrões de movimento e demandas fisiológicas específicos. A troca entre as modalidades, chamada "transição", exige uma rápida adaptação dos atletas, tanto muscular quanto biomecânica, o que pode representar um desafio adicional (V. E. Vleck et al., 2010). A capacidade de alternar entre diferentes movimentos de forma eficiente é essencial para o sucesso no triatlo e exige um controle preciso das estruturas musculoesqueléticas, como os músculos dos membros inferiores e tendões, incluindo o tendão de calcâneo, altamente solicitado durante as fases de ciclismo e corrida (Vleck et al., 2014).

Além disso, o triatlo impõe uma carga cumulativa de estresse sobre o sistema musculoesquelético devido à combinação das três modalidades. O ciclismo, por exemplo, exige uma postura prolongada que pode levar a desequilíbrios musculares, enquanto a corrida, realizada após o ciclismo, gera forças de impacto adicionais em músculos já fatigados, aumentando a vulnerabilidade a lesões (Feletti et al., 2022). A carga prolongada nas estruturas musculares e tendíneas, particularmente nos membros inferiores, pode levar ao desenvolvimento de lesões por uso excessivo, como a tendinopatia do calcâneo (Rhind et al., 2022).

Estudos indicam que triatletas mais velhos, embora mantenham níveis elevados de desempenho, podem ser mais suscetíveis a lesões devido à diminuição da elasticidade dos tecidos e da rigidez muscular e tendínea (Piacentini et al., 2019). No entanto, essa diminuição da rigidez

pode ser observada não apenas em atletas mais velhos, mas também em atletas mais jovens que sofrem com o desgaste crônico associado ao treinamento e à competição de alta intensidade (Avrillon et al., 2020). Essas alterações biomecânicas e estruturais nos tendões e músculos, especialmente no tendão de calcâneo, tornam-se um ponto crucial de análise para compreender as demandas físicas do triatlo.

Lesões no Triatlo

Com o crescimento da prática do triatlo em todo o mundo, observou-se um aumento significativo nas exigências físicas impostas aos atletas, especialmente nas modalidades de longa distância (Feletti et al., 2022). A combinação de natação, ciclismo e corrida gera uma sobrecarga considerável, principalmente nos membros inferiores, particularmente devido à repetição contínua de movimentos, o que está fortemente associado ao surgimento de lesões por uso excessivo em estruturas como músculos, tendões e articulações (Spiker et al., 2012). Estudos apontam que as lesões mais comuns envolvem o tornozelo, pé e joelho, com a tendinopatia de calcâneo sendo uma das mais prevalentes, especialmente entre triatletas de longa distância (McHardy et al., 2006; Tuite, 2010).

A tendinopatia do calcâneo afeta entre 12% e 24% dos triatletas de longa distância e cerca de 7,7% dos triatletas de curta distância, sendo caracterizada por dor, espessamento local e redução da capacidade funcional (Järvinen et al., 2005). Essa condição decorre de uma sobrecarga repetitiva e de alta intensidade, particularmente nas modalidades de longa distância, como o Ironman, onde o tempo de exposição ao estresse biomecânico é prolongado (V. E. Vleck & Garbutt, 1998). A sobrecarga cumulativa de treinos intensos e competições frequentes pode exacerbar a vulnerabilidade a essas lesões, com a corrida sendo a principal atividade relacionada às lesões por uso excessivo, seguida pelo ciclismo (Feletti et al., 2022).

A tendinopatia do tendão de calcâneo pode ser dividida em duas principais categorias: tendinopatia da porção média e tendinopatia insercional, cada uma com características distintas e implicações clínicas específicas. A tendinopatia da porção média geralmente ocorre na região distal do tendão, entre 2 e 6 cm acima de sua inserção no calcâneo. Essa forma da condição está associada a uma sobrecarga repetitiva e é frequentemente vista em atletas que realizam atividades de alto impacto e movimentos repetitivos, como corrida e ciclismo, comuns no triatlo (Järvinen et al., 2005; Martin et al., 2018). Histologicamente, a tendinopatia da porção média está ligada à desorganização das fibras de colágeno e à presença de neovascularização, o que contribui para a redução da capacidade de cicatrização e para o aumento da vulnerabilidade do tendão a lesões (H. Y. Li & Hua, 2016; S. P. Magnusson et al., 2010).

Por outro lado, a tendinopatia insercional ocorre na junção do tendão com o osso calcâneo. Essa forma da condição está frequentemente associada a um contato e tração exacerbados na inserção do tendão, especialmente durante atividades que envolvem dorsiflexão extrema do tornozelo, como a corrida em superfícies inclinadas ou o ciclismo prolongado (Tran et al., 2020). Devido à sua localização, a tendinopatia insercional também pode estar associada ao desenvolvimento de bursites e inflamações na região retrocalcânea, contribuindo para sintomas adicionais de dor e edema. Estudos sugerem que a tendinopatia insercional tende a ser mais difícil de tratar e tem um prognóstico mais desafiador em comparação à tendinopatia da porção média, devido à complexidade anatômica da região e à menor vascularização, o que dificulta o processo de cicatrização (Martin et al., 2018).

O tratamento e a abordagem dessas condições variam de acordo com a localização e a gravidade da lesão, com a tendinopatia da porção média geralmente respondendo melhor a terapias de carga excêntrica, enquanto a tendinopatia insercional pode requerer uma combinação de

intervenções, incluindo modificações de treinamento, alongamentos específicos e até intervenções cirúrgicas em casos mais graves (Aicale et al., 2020; H. Y. Li & Hua, 2016; Martin et al., 2018).

Estudos sugerem que a tendinopatia do calcâneo é uma condição multifatorial que envolve tanto processos degenerativos quanto um processo inflamatório não resolutivo, onde a inflamação não consegue promover uma cicatrização efetiva. A sobrecarga mecânica e o estresse repetitivo, particularmente comuns em atividades como corrida e ciclismo no triatlo, resultam em microtraumas no tendão, que desencadeiam essa cascata de respostas degenerativas e inflamatórias (Maffulli et al., 2003; S. P. Magnusson et al., 2010). Esses microtraumas levam a uma remodelação patológica da matriz extracelular, com aumento da produção de colágeno tipo III, que é menos resistente à tração do que o colágeno tipo I, além da desorganização das fibras colágenas, o que contribui para a diminuição da resistência e elasticidade do tendão (Arya & Kulig, 2010).

Durante o processo degenerativo, há também um aumento da vascularização anormal (neovascularização), que, ao contrário do que se espera, não promove uma regeneração eficiente, mas sim uma cicatrização inadequada. Isso agrava a disfunção tendínea, resultando em uma redução da capacidade do tendão de suportar cargas adequadas (S. P. Magnusson et al., 2010). Com isso, a rigidez do tendão diminui, comprometendo sua capacidade de transmitir força de forma eficiente, o que eleva o risco de lesões mais graves, como rupturas (Arya & Kulig, 2010).

Além da tendinopatia do calcâneo, outras lesões por uso excessivo são comuns entre triatletas, afetando principalmente os membros inferiores. As lesões no joelho, como a dor patelofemoral e a síndrome da banda iliotibial, são recorrentes, sendo frequentemente associadas ao ciclismo e à corrida, devido à repetição constante de movimentos e ao impacto repetitivo nas articulações (Feletti et al., 2022). Também são observadas lesões no quadril e na coluna lombar, frequentemente relacionadas à postura prolongada no ciclismo e ao desequilíbrio muscular gerado pela combinação das diferentes modalidades (Tuite, 2010). As lesões no pé, como a fascite plantar

e fraturas por estresse, são particularmente comuns em triatletas de longa distância, devido à alta demanda imposta aos músculos e ossos durante a corrida de longa duração. Essas lesões, assim como as de tendão, são em grande parte decorrentes do volume e intensidade elevados dos treinamentos, exacerbados pela recuperação inadequada (Spiker et al., 2012).

Os fatores de risco para lesões no triatlo ainda requerem estudos mais aprofundados, embora alguns aspectos já estejam bem estabelecidos, como o histórico prévio de lesões e padrões inadequados de treinamento. Atletas com lesões anteriores têm maior predisposição a lesões subsequentes, principalmente quando o período de recuperação é insuficiente (Feletti et al., 2022). Além disso, a carga de treinamento, a frequência e a intensidade dos exercícios, sobretudo na corrida e no ciclismo, são fatores de risco intrínsecos diretamente relacionados ao desenvolvimento de lesões por uso excessivo. Em particular, o aumento súbito na intensidade ou no volume de treinamento pode elevar drasticamente a incidência de lesões (V. Vleck et al., 2014). Outro fator relevante é o desequilíbrio muscular entre os membros inferiores, que pode predispor a lesões articulares e musculares, especialmente em atividades que demandam repetição contínua de movimentos, como o triatlo (Piacentini et al., 2019).

Recentemente, variáveis como a biomecânica individual, a qualidade do sono e os níveis de estresse também têm sido investigadas como possíveis fatores de risco. Estudos sugerem que a forma como o atleta distribui sua carga durante a corrida ou o ciclismo pode influenciar significativamente sua suscetibilidade a lesões (Feletti et al., 2022). Além disso, condições como a fadiga crônica e o sono inadequado podem reduzir a capacidade de recuperação do corpo, aumentando as chances de lesões agudas e por uso excessivo (Spiker et al., 2012). Esses aspectos ainda requerem mais investigações para serem completamente entendidos, mas já apontam para a importância de uma abordagem multifatorial na prevenção de lesões (Piacentini et al., 2019; Spiker et al., 2012; V. Vleck et al., 2014).

Outro fator relevante, que interfere na incidência de lesões no triatlo, é o aumento expressivo no número de triatletas com idade mais avançada, refletindo uma mudança significativa no perfil etário dos praticantes desse esporte. Estudos indicam que a média de idade dos triatletas, especialmente nas modalidades de longa distância, tem se elevado consideravelmente, com muitos atletas ativos acima dos 40 anos (Piacentini et al., 2019). Esse cenário também foi observado em nosso estudo, onde a média de idade dos triatletas masculinos foi de 39,6 anos e, no grupo feminino, de 40,63 anos, o que reforça essa tendência crescente. Com o avanço da idade, há uma diminuição natural da rigidez dos músculos e tendões, o que pode aumentar a suscetibilidade a lesões, especialmente em esportes de alta intensidade como o triatlo (Lindemann et al., 2020). A menor rigidez dessas estruturas compromete a capacidade de resposta ao estresse mecânico repetitivo, resultando em maior risco de lesões, como a tendinopatia do calcâneo (Pentidis et al., 2020).

Estrutura e organização hierárquica do músculo esquelético e tendões

O músculo esquelético possui uma estrutura altamente organizada e hierárquica, essencial para a geração de força e movimento. Essa organização começa na fibra muscular individual, que é envolvida pelo endomísio, composto por colágeno tipo III e IV, oferecendo elasticidade e suporte estrutural local. As fibras musculares são organizadas em feixes, chamados fascículos, circundados pelo perimísio, predominantemente formado por colágeno tipo I, que confere maior resistência e suporte mecânico ao tecido. Por fim, o músculo completo é envolvido pelo epimísio, uma camada densa e rígida, rica em colágeno tipo I, que protege o músculo e facilita a transmissão de força para os tendões (Charles et al., 2022; Kjær, 2004; S. Magnusson et al., 2001; W. Zhang et al., 2021).

A matriz extracelular (MEC) presente nessas camadas é crucial para a função do músculo esquelético, proporcionando suporte estrutural, comunicação celular e reparo tecidual após lesões

ou sobrecargas mecânicas (W. Zhang et al., 2021). O colágeno tipo I, predominante no epimísio e no perimísio, garante rigidez e resistência à tração, enquanto o colágeno tipo III e IV, presente no endomísio, proporciona elasticidade e adaptabilidade muscular. Essas características são particularmente relevantes em esportes de resistência, como o triatlo, onde os músculos estão sujeitos a esforços repetitivos e intensos (Meyer & Lieber, 2011).

Além do colágeno, a MEC do músculo esquelético contém outros componentes que influenciam sua organização hierárquica e rigidez. A fibronectina e a tenascina, por exemplo, facilitam a adesão e proliferação celular, além de atuarem na transmissão de forças contráteis entre as fibras musculares (Sleboda et al., 2020). Os proteoglicanos ricos em leucina (SLRPs), como a decorina e a biglicana, desempenham papéis cruciais na regulação da fibrilogênese e modulação da rigidez tecidual em resposta a estímulos mecânicos. A decorina, por sua vez, modula a rigidez muscular ao limitar a síntese de colágeno tipo I, impactando diretamente a estrutura das fibrilas de colágeno (Gindre et al., 2013; Sleboda et al., 2020). Esses elementos contribuem para a capacidade adaptativa do músculo diante de demandas físicas intensas, como as encontradas em esportes de resistência (Kjær, 2004).

Outra consideração relevante é o papel do tecido conjuntivo intramuscular e intermuscular nas transmissões de força e interações entre músculo e tendão e entre diferentes músculos. Segundo Kjær (2004), a MEC facilita a transmissão lateral e longitudinal de forças, influenciando diretamente a rigidez nas regiões mais profundas do músculo. A menor rigidez observada na camada média pode estar relacionada à distribuição de colágeno tipo III, mais elástico, e à presença de maior densidade de fibras contráteis envoltas pelo endomísio, que é rico em laminina e colágeno tipo IV (W. Zhang et al., 2021). As camadas superficiais, por sua vez, são mais rígidas devido à maior concentração de colágeno tipo I, enquanto as camadas médias apresentam maior flexibilidade (Sleboda et al., 2020).

Os tendões, que conectam os músculos aos ossos, possuem uma organização semelhante à do músculo. Compostos principalmente por colágeno tipo I, os tendões apresentam alta resistência à tração. As fibrilas de colágeno organizam-se em fibras, que, por sua vez, formam fascículos maiores, envoltos por camadas como endotendão, epitendão e paratendão, permitindo a eficiente transmissão de força do músculo para os ossos durante o movimento (Franchi et al., 2007; Järvinen et al., 2005).

A interação entre a organização muscular, tendínea e a ação da MEC é particularmente relevante em contextos de alta demanda física (Meyer & Lieber, 2011). Durante atividades como o ciclismo e a corrida, tendões como o tendão de calcâneo estão sujeitos a forças axiais elevadas e repetitivas, aumentando o risco de lesões por sobrecarga. A MEC também contribui para a distribuição das forças contráteis, reduzindo o estresse mecânico em regiões específicas do músculo e preservando a integridade das fibras (V. E. Vleck & Garbutt, 1998).

Por fim, a variação na rigidez entre as camadas musculares reflete a distribuição dos componentes da MEC. A camada superficial e profunda, mais próxima das estruturas externas do músculo, como a aponeurose superficial, o epimísio e as ramificações mais externas do perimísio, tende a apresentar maior rigidez devido à alta concentração de colágeno tipo I (W. Zhang et al., 2021). Em contrapartida, a camada média, localizada mais ao centro do músculo, contém a maior concentração de fibras musculares, associadas aos endomísio e perimísios. Nesta região, estamos mais distantes do epimísio e das camadas mais superficiais do perimísio, o que reflete uma área com maior densidade de tecido contrátil e uma rede complexa de colágeno tipo III e IV, associados ao endomísio (Csapo et al., 2020a; W. Zhang et al., 2021).

Elastografia por ondas de cisalhamento (SWE) na avaliação da rigidez muscular e tendínea

A elastografia por ondas de cisalhamento (SWE), uma técnica avançada de imagem, tem se mostrado altamente eficaz na avaliação da rigidez dos tecidos musculares e tendíneos, especialmente no tendão calcâneo e nos músculos da panturrilha (Domenichini et al., 2017). Diferentemente da US convencional, a SWE permite a medição direta da rigidez do tecido, oferecendo dados quantitativos sobre a elasticidade do tendão e do músculo (Mifsud et al., 2023). Essa técnica tem sido amplamente utilizada para estudar as propriedades biomecânicas do tendão calcâneo, fornecendo insights valiosos sobre as alterações que ocorrem em resposta ao treinamento e à prática esportiva (Sukanen et al., 2024).

Além disso, a elastografia já é bem estabelecida em diversas áreas clínicas, sendo amplamente utilizada no diagnóstico de doenças hepáticas, como a fibrose hepática, onde auxilia na avaliação da rigidez do fígado (Paluch et al., 2016). Ela também é aplicada na avaliação de lesões mamárias, nódulos tireoidianos e patologias prostáticas, permitindo uma caracterização tecidual mais precisa sem a necessidade de métodos invasivos (Domenichini et al., 2017). Essas aplicações, junto com sua crescente utilização no sistema musculoesquelético, destacam a versatilidade da elastografia como uma ferramenta diagnóstica não invasiva (Crawford et al., 2023).

Entre as principais vantagens da SWE estão sua capacidade de fornecer medidas quantitativas precisas de rigidez tecidual, de forma não invasiva e rápida, permitindo diagnósticos mais precoces e monitoramento contínuo da recuperação de lesões (Cianforlini et al., 2018; Paluch et al., 2016). Adicionalmente, a SWE é amplamente acessível e economicamente viável em comparação com outras técnicas de imagem, como a ressonância magnética (Domenichini et al., 2017). Contudo, as principais limitações da SWE incluem sua dependência do operador, o que pode afetar a precisão dos resultados, especialmente em tecidos mais profundos, onde a resolução

pode ser reduzida (Domenichini et al., 2017; Paluch et al., 2016). A variabilidade na pressão aplicada pelo operador e a necessidade de padronizar as técnicas de exame também são pontos críticos que precisam ser aprimorados para aumentar a confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados (Domenichini et al., 2017; Gonzalez et al., 2021).

A SWE é particularmente útil como uma ferramenta auxiliar no diagnóstico precoce de tendinopatias, permitindo a detecção de alterações na rigidez do tendão que não seriam observadas em exames convencionais (Prado-Costa et al., 2018). Esportes de resistência, como a corrida de longa distância e maratonas, têm um impacto significativo na rigidez dos músculos e tendões, particularmente no tendão calcâneo, que é crucial para a economia de corrida. Embora uma maior rigidez tendínea possa melhorar o desempenho, favorecendo o armazenamento e a liberação de energia (Dumke et al., 2010), o treinamento prolongado e intenso pode levar a uma redução na rigidez, aumentando o risco de lesões, especialmente em atletas mais velhos (Fletcher & MacIntosh, 2018a, 2018b).

A rigidez do tendão calcâneo pode ser significativamente reduzida em casos de tendinopatia devido a alterações estruturais no tendão, como desorganização das fibras de colágeno, aumento de glicosaminoglicanos e neovascularização, que enfraquecem o tecido tendíneo (Domenichini et al., 2017). Essas mudanças tornam o tendão menos capaz de resistir às forças de tração, resultando em uma elasticidade aumentada e rigidez reduzida. Em casos de ruptura completa do tendão, a perda de continuidade do tecido provoca uma drástica redução da rigidez, uma vez que a estrutura do colágeno é destruída, impossibilitando a transmissão de força (Domenichini et al., 2017; Mifsud et al., 2023). A SWE consegue identificar essas mudanças, fornecendo uma avaliação quantitativa da gravidade da lesão. Além disso, a SWE tem sido aplicada para monitorar a recuperação de lesões, permitindo o acompanhamento da reorganização

das fibras de colágeno e o retorno gradual da rigidez tendínea ao longo do processo de reabilitação (Cianforlini et al., 2018).

A utilização da SWE, portanto, não apenas facilita o diagnóstico e a monitorização de lesões tendíneas e musculares, mas também pode oferecer uma perspectiva detalhada sobre as adaptações fisiológicas que ocorrem nesses tecidos. A expectativa é que, com melhorias na padronização e em sua aplicação, a SWE se torne uma ferramenta ainda mais essencial na prática clínica para a avaliação e monitoramento de lesões musculoesqueléticas (Cianforlini et al., 2018; Domenichini et al., 2017). Essa tecnologia pode revelar mudanças sutis na rigidez que podem estar associadas a um risco aumentado de lesões, a adaptações positivas ou negativas ao treinamento, proporcionando dados valiosos que podem ser utilizados para otimizar o desempenho e prevenir lesões em atletas de elite (Sukanen et al., 2024).

A inovação em nosso estudo, realizando uma abordagem segmentada, ao avaliar as camadas superficial, média e profunda, proporciona uma análise mais detalhada da distribuição da rigidez muscular. Embora não seja possível separar diretamente a função de cada estrutura conectiva em termos de rigidez, essa divisão em camadas permite uma melhor compreensão de como a sobrecarga repetitiva afeta diferentes regiões do músculo. Isso pode ser útil na detecção precoce de alterações patológicas, antes mesmo do surgimento de sintomas clínicos, permitindo a aplicação de estratégias de prevenção mais específicas e direcionadas.

Diferenças sexuais no contexto esportivo.

Outro ponto relevante é a necessidade de avaliar ambos os sexos em estudos atléticos, devido às diferenças fisiológicas e biomecânicas significativas entre atletas masculinos e femininos, especialmente no que diz respeito à rigidez muscular e tendínea. Estudos demonstram que as mulheres frequentemente apresentam menor rigidez tendínea em comparação com os

homens, o que pode influenciar tanto sua suscetibilidade a lesões quanto sua resposta ao treinamento (Lepley et al., 2018; X. Zhang et al., 2021). Por exemplo, a rigidez do tendão calcâneo foi encontrada significativamente menor em atletas femininas universitárias em comparação com não atletas, sugerindo que o nível de atividade e o sexo influenciam as propriedades mecânicas do tendão (Althoff et al., 2024).

Essas diferenças na rigidez tendínea podem estar relacionadas, em parte, a fatores hormonais. O estrogênio, por exemplo, tem um impacto significativo na composição do tecido tendíneo, diminuindo a síntese de colágeno e afetando a elasticidade do tendão (McMahon & Cook, 2024). Durante o ciclo menstrual, variações hormonais podem reduzir temporariamente a rigidez do tendão, o que pode aumentar a vulnerabilidade das mulheres a certas lesões, como a tendinopatia do tendão calcâneo (Souron et al., 2016). Isso pode explicar, ao menos em parte, a maior prevalência de algumas lesões tendíneas em atletas do sexo feminino, particularmente em atividades de alta demanda física como o triatlo.

Além dos fatores hormonais, há evidências de que as mulheres possuem uma menor área de secção transversal no tendão calcâneo e uma menor capacidade de adaptação mecânica a cargas repetitivas, o que contribui para a menor rigidez observada em estudos comparativos (Fouré et al., 2022; Taş & Salkın, 2019). Essa menor rigidez pode aumentar a susceptibilidade das mulheres a lesões, visto que tendões mais rígidos geralmente apresentam uma melhor capacidade de armazenamento e liberação de energia, característica importante para a eficiência biomecânica durante atividades de resistência, como a corrida (Lepley et al., 2018; Piacentini et al., 2019; X. Zhang et al., 2021).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo comparar a rigidez do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha entre triatletas de ambos os sexos e indivíduos fisicamente ativos. O objetivo secundário é comparar a rigidez das camadas superficial, média e profunda dos músculos

da panturrilha entre esses grupos. Por fim, busca-se identificar diferenças na rigidez entre as camadas dos músculos da panturrilha dentro de cada grupo. A hipótese é de que os triatletas apresentem menor rigidez do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha em comparação aos controles fisicamente ativos, devido à carga de treinamento e ao uso excessivo dessas estruturas. Além disso, espera-se que os triatletas apresentem menor rigidez nas camadas superficial, média e profunda dos músculos da panturrilha em comparação aos controles, pelo mesmo motivo. Finalmente, espera-se que a camada superficial dos músculos da panturrilha apresente maior rigidez em comparação com as outras camadas dentro de cada grupo de estudo.

OBJETIVOS:

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar a rigidez do tendão calcâneo e do tríceps sural em triatletas e indivíduos fisicamente ativos, de ambos os sexos, considerando as possíveis adaptações decorrentes do treinamento de alta intensidade. Além disso, busca-se investigar as diferenças na rigidez das camadas superficial, média e profunda dos músculos da panturrilha entre esses grupos, bem como as variações dentro de cada grupo.

HIPÓTESES:

Hipotetizamos que: (1) a rigidez do tendão calcâneo e dos músculos da panturrilha será menor em triatletas em comparação aos controles fisicamente ativos; (2) a rigidez das camadas superficial, média e profunda dos músculos da panturrilha será menor em triatletas em comparação aos controles; (3) dentro de cada grupo estudado, a camada superficial dos músculos da panturrilha apresentará maior rigidez em comparação com as camadas média e profunda. (4) a rigidez do tendão calcâneo e dos músculos do tríceps sural será menor nas mulheres em relação aos homens.

MANUSCRITO

Comparison of Calf Muscle and Achilles Tendon Stiffness Between Triathletes and Physically Active Individuals: A Cross-Sectional Study Using Shear Wave Elastography

Estevão de Souza Diniz^{a,b}; José Roberto de Souza Júnior^{a,c}; Pedro Bainy Franz^a; Leandro Gomes de Jesus Ferreira^{a,b}; Amanda Morais Costa^{a,b}; Julia Rocha^{a,b}; Ana Luísa Ribeiro^{a,b}; Leandro Moreira^c; Isabella da Silva Almeida^{a,b}; Jean Marcel Geremia^d; Fernando Diefenthaler^e; Marco Aurelio Vaz^d; Rodrigo Scattone Silva^f; João Luiz Quagliotti Durigan^a; Rita de Cássia Marqueti^{a,b}

^a Laboratory of Muscle and Tendon Plasticity, Graduate Program in Rehabilitation Science, Faculty of Ceilândia, University of Brasília, Federal District, Brazil;

^b Laboratory of Molecular Analysis, Graduate Program in Rehabilitation Science, Faculty of Ceilândia, University of Brasília, Federal District, Brazil;

^c University Center of the Federal District – UDF, Federal District, Brazil;

^d Research Laboratory of Exercise, School of Physical Education, Physiotherapy, and Dance, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

^e Biomechanics Laboratory, Sports Center, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil;

^f Brazilian Tendinopathy and Sports Injuries Research Group, Postgraduate Program in Physical Therapy, Federal University of Rio Grande do Norte, Santa Cruz, RN, Brazil.

*Corresponding author:

Rita de Cássia Marqueti, PhD, Laboratory of Molecular Analysis, Graduate Program in Rehabilitation Sciences, University of Brasília. Faculdade de Ceilândia, Centro Metropolitano, Conjunto A, Lote 01, Brasília, DF Brazil 72220275. E-mail: marqueti@unb.br

ABSTRACT

Introduction: Triathlon's global popularity, with over 120 national federations and millions of athletes, has led to an increase in injuries, particularly Achilles tendinopathy, affecting 12–24% of long-distance and 7.7% of short-distance triathletes. Understanding the morphological adaptations of the Achilles tendon and calf muscles is crucial. **Objective:** This study evaluation the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles in triathletes and physically active controls, while identifying differences in the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles across and within these groups. **Methods:** A cross-sectional study was conducted with 42 participants divided into four groups: 10 male triathletes, 10 male controls, 11 female triathletes, and 11 female controls. Shear-wave elastography (SWE) assessed the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. **Results:** No between-group differences were found for the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. In the soleus muscle, the stiffness of the superficial layer was greater in the male control group compared to female triathletes ($p = 0.002$). Also, the middle layer was greater in the male control group compared to the male triathletes ($p = 0.023$), and female triathletes ($p = 0.028$). Finally, the middle layer was greater in male controls compared to female triathletes ($p = 0.008$). Within-group differences showed that the superficial layer was generally stiffer than the middle and deep layers across all groups and muscles. Notably, in the lateral gastrocnemius, the deep layer showed greater stiffness compared to the middle layer only for female controls ($p = 0.014$). **Conclusion:** Triathlon does not affect the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles, but differences in muscle layers highlight the need for a segmented approach in SWE, which may reveal specific training effects or injury risks.

Keywords: Triathlon, Achilles Tendon, Injury Risk, Muscle Layer, SWE

INTRODUCTION

Triathlon is a growing sport worldwide, with 120 national federations affiliated with the International Triathlon Union (ITU - INTERNATIONAL TRIATHLON UNION, 2022). In 2023, more than 200,000 athletes participated in global qualifying events, with a notable increase in female participation, rising from approximately 560 in 2011 to around 1,800 in the Ironman World Championship in 2022, and from 600 to 2,100 in the Ironman 70.3 World Championship during the same period. Additionally, the age range of participants is broad, with the average age being 42 years in the same competition, reflecting the sport's inclusivity and accessibility (The IRONMAN Group, 2023; Triathlon Magazine Canada, 2023).

Alongside this popularization, there has also been an increase in the number of injuries, especially due to overuse of the lower limbs, with the highest incidences in the ankle (12% to 24%), foot (14%), and knee (56%) (McHardy et al., 2006). Among these, Achilles tendinopathy is notably prevalent, especially in elite athletes, with an incidence ranging between 12% and 24% among long-distance triathletes compared to Olympic distance triathletes (Tuite, 2010). In a study with Ironman athletes, 11% reported having suffered an Achilles tendon injury at least once, while 10% reported recurrent injuries. In short-distance triathletes, the prevalence was 8%, with a gender disparity of 9% in men and 5% in women (V. Vleck & Hoeden, 2020).

Achilles tendinopathy is characterized by pain, local thickening, and reduced functional capacity (Järvinen et al., 2005). To fully comprehend these injuries, it is important to understand the architecture and functionality of the tendons and muscles, which connect to transmit force and facilitate movement. The occurrence of Achilles tendinopathy is associated with the tendon's small

cross-sectional area and the substantial axial loading forces applied to it (Thompson & Baravarian, 2011). These forces induce structural changes in response to the demands placed on the tendon (Biewener & Roberts, 2000; Cianforlini et al., 2018).

Given the complexity of muscle function, it is crucial to study the hierarchical organization of muscle fibers and layers, including the structure of muscle aponeuroses (epimysium, endomysium, and perimysium), to fully understand how different layers respond to specific training regimens (Csapo et al., 2020b). Our approach using SWE, which assesses muscle stiffness by separating it into superficial, middle, and deep layers, provides valuable insights into how this hierarchical organization and the distribution of collagen within these layers influence the muscle's response to training. Type I collagen, predominant in the superficial and intermediate layers, confers greater stiffness to these regions, while Type III collagen, more abundant in the deeper layers, contributes to greater elasticity and reduced stiffness (Gillies & Lieber, 2011). Understanding these structural differences is essential for identifying how the extracellular matrix (ECM) and various muscle layers respond to specific physical stimuli, which can assist in developing better strategies for preventing injuries and potentially improving athletic performance (Csapo et al., 2020b; Kjær, 2004b).

Endurance sports like long-distance running and marathons significantly influence muscle and tendon stiffness, particularly in the Achilles tendon, which is crucial for running economy. While increased tendon stiffness can enhance performance by improving energy storage and release (Dumke et al., 2010), prolonged and intense training can lead to reduced stiffness post-marathon, raising the risk of injury, especially in older athletes (Fletcher & MacIntosh, 2018).

Understanding these adaptations is vital for developing strategies to prevent injuries and optimize performance, which is particularly relevant for triathletes given their high training volumes (Kubo et al., 2010; Maćkała et al., 2021).

Despite the substantial number of studies on the mechanical and morphological characteristics of the Achilles tendon and the calf muscles, and their relationships with athletes of various modalities, primarily runners, (Arampatzis et al., 2007; Esposito et al., 2022; Fletcher & MacIntosh, 2018b; Gonzalez et al., 2021; Kovács et al., 2020; Kvist, 1994; L. Li et al., 2023; Scott et al., 2022; Ueno et al., 2018), in response to eccentric strength training (Geremia et al., 2019) in clinical conditions such as spinal cord injury (Santana et al., 2022), and after Achilles tendon rupture (Geremia et al., 2015). However, there remains a gap in the literature regarding the adaptations of the Achilles tendon and calf muscles that occur due to the practice of triathlon (Dirrichs et al., 2019; Ishika Chauhan & Priyanka Telang, 2022).

Evaluating both sexes in athletic studies is crucial due to the distinct physiological and biomechanical differences between male and female athletes, particularly in muscle and tendon stiffness. Research has shown that female athletes often exhibit lower tendon stiffness compared to males, which can influence their susceptibility to injury and their response to training (Lepley et al., [s.d.]; X. Zhang et al., 2021). Despite these differences, there is a notable scarcity of studies focusing on female athletes, leading to a gap in tailored training protocols that address their specific needs (McMahon & Cook, 2024). Understanding these sex-specific differences is essential for developing effective and personalized training and rehabilitation strategies for both male and female athletes.

Therefore, we aimed to compare the stiffness of the Achilles tendon, and calf muscles between triathletes of both sexes and healthy physically active controls. The secondary goal was to compare the stiffness of the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles between these groups. Finally, we aimed to identify differences in the stiffness among the layers of the calf muscles within each group. The hypothesis was that triathletes would present lower stiffness of the Achilles tendon and calf muscles compared to active and healthy controls, due to the training load and overuse of these structures. Additionally, it was expected that triathletes would show lower stiffness of the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles compared to controls for the same reason. Finally, it was expected that the superficial layer of the calf muscles would present greater stiffness compared to the other layers within each study group.

METHODS

Study Design

This cross-sectional study followed the recommendations of STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) and was approved by the Ethics Committee on Research with Humans of the University of Brasília (CAAE: 70162723.0.0000.8093). Informed consent was obtained in accordance with the Helsinki Declaration and local resolution.

Participants

Forty-two participants were selected for this study (twenty-one triathletes and twenty-one healthy controls). They were divided into four groups: (I) Male triathletes (n=10), male controls (n=10), female triathletes (n=11), and female controls (n=11). The triathlon group included athletes

of age greater than 18 years old, of both sexes and who had practiced the sport for more than a year with a frequency training of at least four times a week. Triathletes were instructed not to train in the 8 hours preceding their scheduled evaluation. All evaluations were conducted in the morning to facilitate and standardize the assessment period. A longer training abstention period or control over their training phase was not requested to avoid disrupting the athletes' routine, which could have led to withdrawal from the study.

The control group included healthy, physically active participants with age greater than 18 years old, of both sexes, and who had practiced any physical activity (except running) for more than a year with a frequency training of at least three times a week. Participants with concomitant musculoskeletal injuries, with underlying neurological/neuromuscular disorders, who had used anabolic steroids or steroidal anti-inflammatories or antibiotics from the fluoroquinolone group in the four weeks before the evaluation, and who had delayed muscle pain on the day of the assessment were excluded from both groups (Alves et al., 2019). For women in both groups who have a menstrual cycle, whether regular, irregular, or under contraceptive use, data collection was not conducted 5 days before, during, or 5 days after the menstrual period (Dantas et al., 2015; Elliott et al., 2003; Elliott-Sale et al., 2021; Teepker et al., 2010; Tenan et al., 2016). Participants were recruited from September 2023 to May 2024 through competitive triathlon events.

Data collection

Data collection began with a questionnaire to obtain identification and general data such as age (years), body mass (kg), height (m), body mass index (BMI) (kg/m^2), history of injury, medications/supplements, and training information.

Subsequently, the stiffness of the Achilles tendon, soleus, medial gastrocnemius, and lateral gastrocnemius was assessed using SWE. All evaluations were performed by a single evaluator, who was previously trained and qualified. Data collection was performed on an ultrasound (US) system (ACUSON Redwood Ultrasound System – Siemens Healthineers, Erlangen, Germany) using with a linear transducer (10 - L4 MHz). Tendon and musculoskeletal settings were used with scales ranging from 0-300 kPa. Participants were positioned prone on an examination table, with their knees extended and ankles in a relaxed position (no muscle contraction or foot support), with their feet hanging off the table (Figure 1 A-D). Three US images were obtained for the Achilles tendon and each of the calf muscles as described below.

For the Achilles tendon, the US probe was positioned perpendicular to the skin and longitudinally over the Achilles tendon at 10% of the length of the leg, near its insertion at the calcaneal tuberosity (Chino & Takahashi, 2015; Lima et al., 2017). A gel pad (Hill Laboratories®) was used between the skin and the transducer to obtain acoustic coupling without exerting extra pressure on the skin surface (**Figure 1 A**). Nine regions of interest (ROIs) in a circular format, each measuring 3 mm in diameter, were manually positioned along the tendon for each collected image (**Figure 2 A**). The total stiffness (kPa) of the Achilles tendon was obtained using the mean of the nine ROIs and the three images.

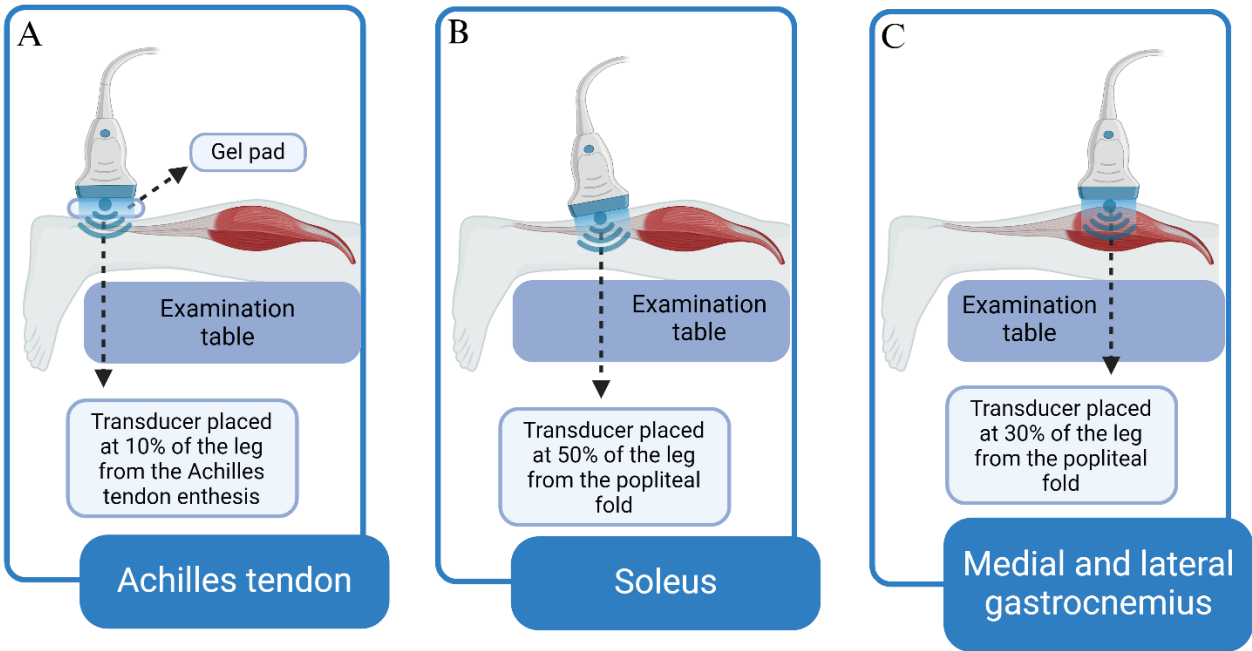


Figure 1: Transducer positioning for the SWE evaluation of Achilles tendon and calf muscles. A, evaluation of the Achilles tendon., using a PAD for better coupling with the skin; B, evaluation of the soleus muscle; C, evaluation of the medial and lateral gastrocnemius. The center of the muscles previously visualized in a transverse image at this region.

For the calf muscles, the US probe was positioned perpendicular to the skin and longitudinally to the muscle fibers at 50% of the distance between the popliteal crease and the lateral malleolus for the soleus (**Figure 1 B**), and 30% of the distance between the popliteal crease and the lateral malleolus for the medial and lateral gastrocnemius muscles (**Figure 1 C**). The US probe was covered with water-soluble transmission gel. Thirty ROIs in a circular format, each 3 mm in diameter, were manually positioned as follows: a) 10 measurements in the superficial region of the muscles, adjacent but not touching the superficial aponeurosis (superficial layer) (**Figure 2 B**); b) 10 measurements in the intermediate region of the muscles (middle layer) (**Figure 2 B**); and c) 10 measurements in the deep region of the muscles, adjacent but not touching the deep

aponeurosis of the muscle (deep layer) (**Figure 2 C**). Our US equipment limited the distribution to 20 ROIs at a time, therefore we needed to divide the muscle evaluation into two stages. The stiffness (kPa) of the superficial, middle, and deep layers of the soleus, medial gastrocnemius, and lateral gastrocnemius was obtained separately by averaging the 10 ROIs collected for each layer across three different images. The total stiffness (kPa) of the soleus, medial gastrocnemius, and lateral gastrocnemius was obtained by averaging the 30 ROIs from the three images obtained.

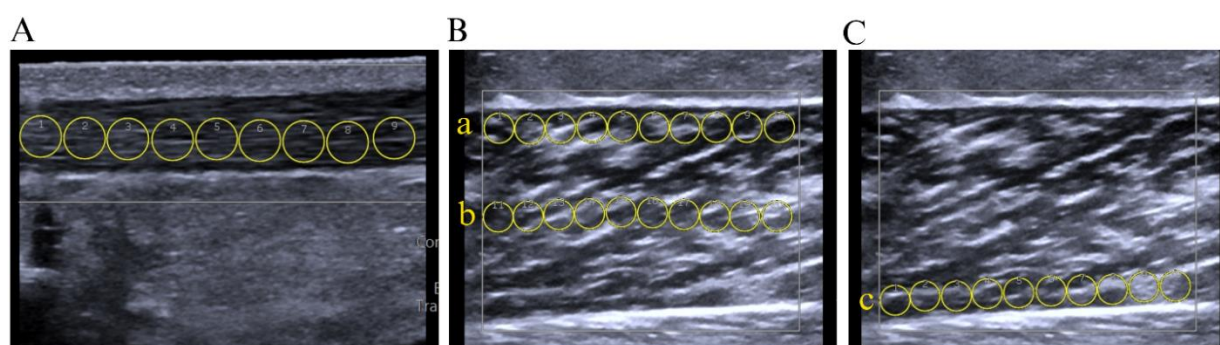


Figure 2: SWE image of the Achilles tendon and medial gastrocnemius muscle, demonstrating the distribution of region of interests (ROI)s during the examination: A, Image of the Achilles tendon demonstrating the distribution of 9 ROIs of 3 mm along the tendon; B, Image of the medial gastrocnemius muscle demonstrating the distribution of 20 ROIs of 3 mm, with 10 bordering the superficial aponeurosis (“a”, superficial layer) and 10 in the central region of the muscle (“b” middle layer); C, Image of the medial gastrocnemius muscle, demonstrating the distribution of 10 ROIs bordering the deep aponeurosis (“c” deep layer).

Sample size

A posteriori sample size calculation was conducted using the Eta-partial square value (η^2) of the group-by-layer interaction for soleus stiffness ($\eta^2 = 0.22$) obtained after data collection of

42 subjects. In G*Power software, we used repeated-measures ANOVA, within-between interaction, with the following parameters: effect size $f = 0.53$ (obtained using $\eta^2 = 0.22$); level of significance = 0.05; power = 99%; number of groups = 4 (MT x FT x MC x FC); number of measurements = 3 (superficial x middle x deep). The G*Power software used the effect size index (f) for this analysis. The effect size f was directly calculated from the η^2 through the following formula: $f = \sqrt{\eta^2/(1-\eta^2)}$. The analysis indicated that a total sample size of 24 participants would be sufficient for the study.

Statistical Analysis

Data were analyzed using SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 26.0. Descriptive statistics consisted of means and standard deviation for continuous variables and frequencies and percentages for categorical variables. Data normality was tested using the Shapiro-Wilk test, while homogeneity of variances was tested using Levene's test. Participant's characteristics were compared using one-way ANOVA (continuous variables with parametric distribution), Kruskal-Wallis's test (continuous variables with non-parametric distribution), Chi-square test (categorical variables) and Fisher's Exact test (categorical variables). Between-group differences regarding total stiffness for the Achilles tendon, soleus, medial gastrocnemius, and lateral gastrocnemius were calculated using General Linear Models (parametric data) and Generalized Linear Models (non-parametric data). Differences in stiffness according to layers were calculated using Generalized Estimation Equations. Group (male triathletes x male controls x female triathletes x female controls) was used as independent factor, layer (superficial, middle, and deep) as the repeated factor, and the stiffness, of the soleus, medial gastrocnemius, and lateral

gastrocnemius muscles as dependent variables. General data that were different between groups were entered as covariates in the model. Bonferroni's post hoc was used to make pairwise comparisons. A statistical significance level of $p < 0.05$ was used.

RESULTS

General data

Participants presented a mean age of 39.23 (7.00) years, body mass of 70.60 (13.14) kg, height of 169.23 (8.86) cm, and BMI of 24.53 (3.44) kg/m². Between-group differences were found for body mass ($p < 0.001$), height ($p < 0.001$), and BMI ($p = 0.006$). As expected, men were taller and had a higher body mass than women. Specifically, in relation to body mass and height, differences were found between male triathletes and female triathletes (mean difference (MD) = 19.49, 95% CI 7.74 – 31.21, $p < 0.001$; MD = 14.89, 95% CI 6.98 – 22.77, $p < 0.001$), male triathletes and female controls (MD = 11.78, 95% CI 0.04 – 23.51, $p = 0.049$; MD = 13.53, 95% CI 5.62 – 21.41, $p < 0.001$), male controls and female triathletes (MD = 22.95, 95% CI 11.21 – 34.68, $p < 0.001$; MD = 10.59, 95% CI 2.68 – 18.47, $p = 0.004$), and male controls and female controls (MD = 15.25, 95% CI 3.51 – 26.98, $p = 0.005$; MD = 9.22, 95% CI 1.32 – 17.11, $p = 0.015$). Differences in BMI were found only between male controls and female triathletes (MD = 5.04, 95% CI 1.33 – 8.74, $p = 0.003$). Additionally, the VISA-A score, reflecting ankle function, showed no significant differences between the groups ($p = 0.734$). Regarding physical activity, male participants predominantly engaged in triathlon and weight training, while female participants reported a more varied activity profile, including cycling, Pilates, and other activities ($p = 0.079$). Notably, both male and female triathletes, in their majority, reported engaging in some

complementary physical activity, which provides important support for triathlon practice (Table 1).

Table 1. Anthropometric characteristics, ankle function, and physical activity profile (n=42)

	MT (n=10)	MC (n=10)	FT (n=11)	FC (n=11)	p*
Age, y	39.60 (5.21)	39.40 (8.97)	40.63 (6.28)	37.36 (7.67)	0.753
Body mass, kg	77.96 (7.88)	81.43 (11.32)	58.48 (7.59)	66.18 (11.17)	<0.001*
Height, cm	177.70 (9.51)	173.40 (4.50)	162.81 (4.72)	164.18 (6.17)	<0.001*
BMI, kg/m ²	24.75 (2.48)	27.03 (3.16)	21.99 (2.03)	24.60 (4.06)	<0.05*
VISA-A, 0 - 100	98,5 (3,17)	99,1 (2,84)	99,4 (1,50)	99 (3)	0,734
Physical activity					0,079
Only triathlon	2 (20%)	0 (0%)	1 (9,1%)	0 (0%)	
Weight training	7 (70%)	4 (40%)	5 (45%)	6 (54,5%)	
Functional training	1 (10%)	1 (10%)	1 (9,1%)	0 (0%)	
Cycling	0 (0%)	3 (30%)	0 (%)	0 (0%)	
CrossFit	0 (0%)	0 (0%)	0 (%)	2 (18,2%)	
Others	0 (0%)	2 (20%)	4 (36,8%)	3 (27,3%)	

BMI, Body Mass Index; MT, Male triathletes; MC, Male controls; FT, Female triathletes; FC, Female controls.
*Significant between-group differences (p<0.05).

Triathlon Experience, Training, and Competition Characteristics

In relation to triathlon experience, 70% of male triathletes and 72.7% of female triathletes reported practicing triathlon for 1 to 5 years, while 30% of male triathletes and 27.3% of female triathletes had been practicing for 6 to 10 years. Significant differences were not observed between the groups regarding triathlon experience (p = 0.999). Regarding weekly running volume, 80% of male triathletes reported running more than 35 km per week, while 63.4% of female triathletes ran less than 35 km per week, with no significant difference between groups (p = 0.080). However, running speed was significantly different between male and female triathletes, with men running at a mean speed of 13.10 (1.38) km/h, compared to 11.19 (0.63) km/h for women (p < 0.001). The

number of races completed also varied between groups, but these differences were not statistically significant ($p = 0.130$) (**Table 2**).

Table 2. Experience, training, and competition characteristics in the triathletes (n=21)

	MT (n=10)	FT (n=11)	p*
Experience, years			
One to five	7 (70%)	8 (72,7%)	0,999
Six to ten	3 (30%)	3 (27,3%)	
Running volume, km/week			
Less than thirty-five	2 (20%)	7 (63,4%)	0,080
More than thirty-five	8 (80%)	4 (36,4%)	
Running speed, km/h	13,10 (1,38)	11,19 (0,63)	<0,001*
Number of races			
One to five	3 (30%)	2 (18,2%)	0,130
Six to ten	3 (30%)	8 (72,7%)	
More than ten	4 (40%)	1 (9,1%)	
Target race			
Sprint triathlon	1 (10%)	2 (18,2%)	0,999
Olympic triathlon	1 (10%)	0 (0%)	
Ironman 70.3	6 (60%)	5 (45,4%)	
Full Ironman	0 (0%)	1 (9,1%)	
Olympic triathlon and Ironman 70.3	1 (10%)	1 (9,1%)	
Ironman 70.3 and Full Ironman	1 (10%)	1 (9,1%)	
Sprint triathlon and Olympic triathlon	0 (0%)	1 (9,1%)	

MT, Male triathletes; FT, Female triathletes. *Significant between-group differences ($p < 0.05$).

History of Ankle/Foot and Knee Pain and Injury Diagnosis

Regarding ankle/foot pain, 30% of male triathletes and 18.2% of female triathletes reported experiencing regular pain (at least once a month), while the majority of participants in the control groups reported rare or no occurrences of ankle/foot pain ($p = 0.784$). Diagnosis of ankle injuries varied, with plantar fasciitis being the most common diagnosis among male triathletes (30%), while no female controls reported this condition. Achilles tendinopathy was reported by 20% of

both male triathletes and male controls, and by 18.2% of female triathletes. Knee pain was more common among female participants, but no statistically significant differences were found between groups ($p = 0.554$) (**Table 3**).

Table 3. History of ankle/foot and knee pain and injury diagnosis in participants (n=42)

	MT (n=10)	MC (n=10)	FT (n=11)	FC (n=11)	p*
Have you ever experienced ankle/foot pain?					0,784
Yes, regularly (at least once a month)	3 (30%)	2 (20%)	2 (18,2%)	1 (9,1%)	
Yes, rarely (less than once a month)	4 (40%)	3 (30%)	6 (54,5%)	4 (36,4%)	
No, I have never felt pain	3 (30%)	5 (50%)	3 (27,3%)	6 (54,5%)	
Do you have a diagnosis of an ankle/foot injury?					0,052
I have never undergone medical evaluation	4 (40%)	3 (30%)	2 (18,2%)	3 (27,3%)	
I have never felt ankle pain	0 (0%)	5 (50%)	2 (18,2%)	6 (54,5%)	
Achilles tendinopathy	2 (20%)	2 (20%)	2 (18,2%)	0 (0%)	
Calcaneal spur	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	
Plantar fasciitis	3 (30%)	0 (0%)	2 (18,2%)	0 (0%)	
Ankle sprain	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	
Plantar fasciitis and calcaneal spur	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	0 (0%)	
Other	1 (10%)	0 (0%)	2 (18,2%)	0 (0%)	
Have you ever experienced knee pain?					0,554
Yes, regularly (at least once a month)	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	2 (18,2%)	
Yes, rarely (less than once a month)	5 (50%)	3 (30%)	6 (54,5%)	5 (45,5%)	
No, I have never felt pain	5 (50%)	7 (70%)	4 (36,4%)	4 (36,4%)	
Do you have a diagnosis of a knee injury?					0,772
I have never undergone medical evaluation	2 (20%)	2 (20%)	3 (27,3%)	5 (45,5%)	
I have never felt knee pain	4 (40%)	5 (50%)	4 (36,4%)	4 (36,4%)	
Chondropathy	1 (10%)	0 (0%)	2 (18,2%)	0 (0%)	
Ligament injuries	1 (10%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
Patellar tendinopathy	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	
Meniscus injuries	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,1%)	1 (9,1%)	
Other	2 (20%)	2 (20%)	1 (9,1%)	0 (0%)	

MT, Male triathletes; MC, Male controls; FT, Female triathletes; FC, Female controls. Values are presented as n (%). *Significant between-group differences (p<0.05).

Menstrual Cycle and Contraceptive Use in Female Participants

Among the female participants, 90.9% of female triathletes reported having a regular menstrual cycle (21 to 35 days), compared to 54.5% of female controls, while 18.2% of female controls reported being in menopause ($p = 0.282$). The use of contraceptive methods differed significantly between the groups ($p < 0.001$), with 63.6% of female triathletes using condoms as their primary contraceptive method, whereas 45.5% of female controls reported not using any contraceptive methods. Additionally, most participants (72.7% in both groups) did not adjust their training routines during their menstrual periods ($p = 0.999$) (Table 4).

Table 4. Menstrual cycle characteristics and contraceptive methods among female participants (n=22)

	FT (n=11)	FC (n=11)	p*
Cycle type			0,282
Regular (21-35 days)	10 (90,9%)	6 (54,5%)	
Irregular (more than 35 days)	0 (0%)	1 (9,1%)	
Amenorrhea	1 (9,1%)	2 (18,2%)	
Menopause	0 (0%)	2 (18,2%)	
Contraceptive methods			<0,001*
Condoms only	7 (63,6%)	0 (0%)	
I do not use contraceptive methods	0 (0%)	5 (45,5%)	
Copper IUD (Intrauterine Device)	3 (27,3%)	1 (9,1%)	
Hormonal IUD (Intrauterine Device)	0 (0%)	3 (27,3%)	
Birth control pill with pause	0 (0%)	1 (9,1%)	
Continuous-use birth control pill	1 (9,1%)	1 (9,1%)	
Adjustments to training during the menstrual period			
I do not make adjustments	8 (72,7%)	8 (72,7%)	0,999
I reduce the intensity or partially stop training	3 (27,3%)	3 (27,3%)	

FT, Female triathletes; FC, Female controls. Values are presented as n (%). *Significant between-group differences ($p < 0.05$).

Intra-Examiner Reliability

In the present study, the intra-examiner reliability of the shear wave elastography (SWE) data for calf muscles and Achilles tendon stiffness was evaluated. The reliability was assessed using the Intraclass Correlation Coefficient (ICC) based on a two-way random effects model with absolute agreement. The principal investigator performed three repeated evaluations of the calf muscles and Achilles tendon stiffness in 28 participants (both sexes) at different time intervals. These measurements were made following the same standardized procedure for each evaluation. The ICC values were calculated to assess the consistency of measurements across the three time points, and results showed high reliability, demonstrating consistency in the elastography assessments across multiple sessions (Table 5).

Table 5. Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for Achilles tendon and calf muscle stiffness. (n=28)

Structure	ICC	95% CI	Classification
Achilles tendon	0.818	0.663 – 0.909	High
Soleus	0.775	0.578 – 0.888	High
Medial gastrocnemius	0.918	0.846 – 0.959	Very High
Lateral gastrocnemius	0.937	0.882 – 0.969	Very High

Intraclass Correlation Coefficient (ICC), ICC refers to Intraclass Correlation Coefficient, and 95% CI represents the 95% Confidence Interval.

Between-group differences in the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles

No between-group differences were found for the overall stiffness of the Achilles tendon, and for the soleus, medial, and lateral gastrocnemius muscles measured through SWE (all $p > 0.05$) (Figure 3 A–D).

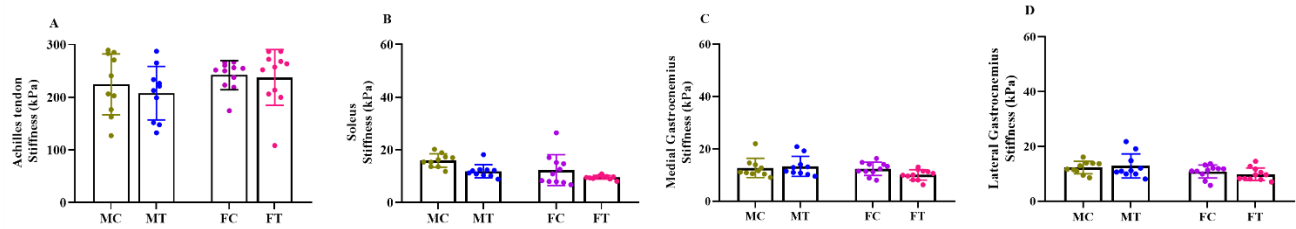


Figure 3. Between-group differences in the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. A, Mean (SD) for stiffness (kPa) of the Achilles tendon; B, Mean (SD) for stiffness (kPa) of the soleus muscles; C, Mean (SD) for stiffness (kPa) of the medial gastrocnemius muscles; D, Mean (SD) for stiffness (kPa) of the lateral gastrocnemius muscles; MC, male controls; MT, male triathletes; FC, female controls; FT, female triathletes. No statistically significant differences were found ($p > 0.05$).

Between-group differences in the superficial, middle and deep layers stiffness of the calf muscles

A significant group-by-layer interaction was found ($p < 0.001$). In the soleus muscle, the stiffness of the superficial layer was greater in the male control group compared to female triathletes (MD = 6.13, 95% CI 1.18 – 11.08, $p = 0.002$). Also, the middle layer was greater in the male control group compared to the male triathletes (MD = 3,07, 95% CI 0,18 – 5,96, $p = 0.023$), and female triathletes (MD = 3,05, 95% CI 0.13 – 5.96, $p = 0.028$). Finally, the deep layer was greater in male controls compared to female triathletes (MD = 3.60, 95% CI 0.45 – 6.74, $p = 0.008$). (**Figure 4 A, B and C, respectively**). No significant differences were found in the other muscles.

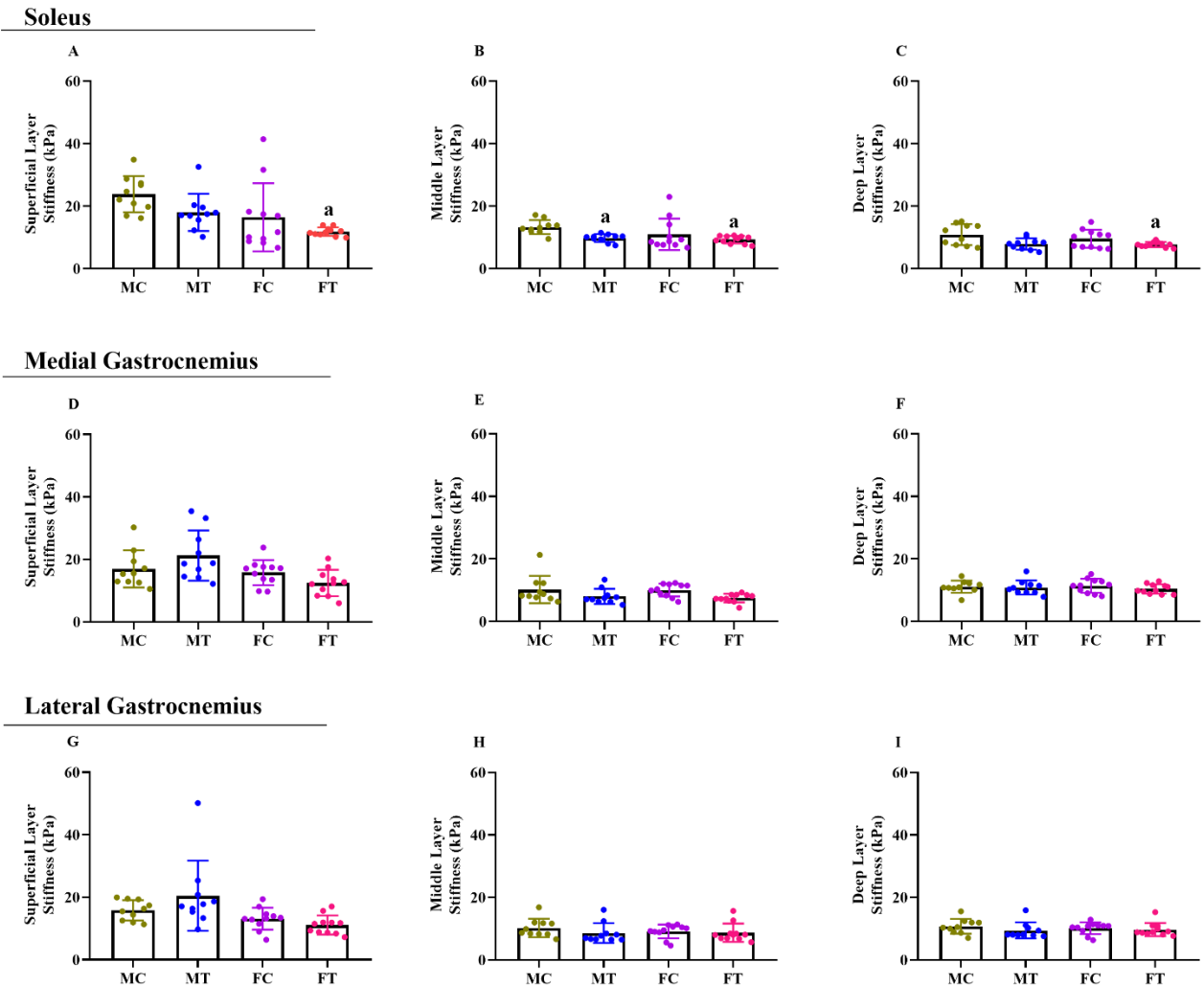


Figure 4. Between-group differences in the superficial, middle, and deep layers stiffness (kPa) of the soleus, medial, and lateral gastrocnemius muscles. A, Stiffness in the superficial layer of the soleus muscle; B, Stiffness in the middle layer of the soleus muscle; C, Stiffness in the deep layer of the soleus muscle; D, Stiffness in the superficial layer of the medial gastrocnemius muscle; E, Stiffness in the middle layer of the medial gastrocnemius muscle; F, Stiffness in the deep layer of the medial gastrocnemius muscle; G, Stiffness in the superficial layer of the lateral gastrocnemius muscle; H, Stiffness in the middle layer of the lateral gastrocnemius muscle; I, Stiffness in the deep layer of the lateral gastrocnemius muscle. MC, male controls; MT, male triathletes; FC, female controls; FT, female triathletes; a, Significant difference of male controls ($p < 0.05$).

Within-group differences in the superficial, middle, and deep layers stiffness of the calf muscles

A significant group-by-layer interaction was found for all calf muscles ($p < 0.001$). In the soleus muscle, for male triathletes, stiffness was greater in the superficial layer compared to the middle (MD = 6.25, 95% CI 2.45 – 10.05, $p < 0.001$) and deep layers (MD = 7.68, 95% CI 3.64 – 11.72, $p < 0.001$) (**Figure 5 B**). For male controls, stiffness was greater in the superficial layer compared to the middle (MD = 6.54, 95% CI 2.35 – 10.73, $p < 0.001$) and deep layers (MD = 8.03, 95% CI 2.63 – 13.42, $p < 0.001$) (**Figure 5 A**). For female triathletes, the superficial layer was stiffer than the middle (MD = 3.46, 95% CI 0.71 – 6.21, $p = 0.001$) and deep layers (MD = 5.49, 95% CI 3.41 – 7.58, $p < 0.001$), with the middle layer also greater than the deep layer (MD = 2.03, 95% CI 0.18 – 3.87, $p = 0.014$) (**Figure 5 D**).

In the medial gastrocnemius muscle, for all groups, the stiffness in the superficial layer was greater than the middle layer (MT: MD = 10.11, 95% CI 3.14 – 17.08, $p < 0.001$, MC: MD = 4.52, 95% CI 1.84 – 7.19, $p < 0.001$, FT: MD = 6.05, 95% CI 1.83 – 10.27, $p < 0.001$, FC: MD = 5.64, 95% CI 1.75 – 9.53, $p < 0.001$) (**Figure 5 E–H**). Additionally, for male triathletes, male controls, and female controls, the stiffness in the superficial layer was greater than in the deep layer (MT: MD = 7.78, 95% CI 0.90 – 14.66, $p = 0.009$, MC: MD = 4.06, 95% CI 0.96 – 7.15, $p = 0.001$, FC: MD = 4.18, 95% CI 0.42 – 7.95, $p = 0.012$) (**Figure 5 E–G**). The deep layer was also greater than the middle layer for male triathletes, female triathletes, and female controls (MT: MD = 2.32, 95% CI 1.35 – 3.29, $p < 0.001$, FT: MD = 3.24, 95% CI 0.64 – 5.83, $p = 0.002$, FC: MD = 1.45, 95% CI 0.45 – 2.45, $p < 0.001$) (**Figure 5 F–H**).

For the lateral gastrocnemius muscle, the superficial layer was stiffer than the middle layer in male controls (MD = 3.83, 95% CI 1.88 – 5.79, $p < 0.001$), female triathletes (MD = 3.18, 95% CI 1.80 –

4.56, $p < 0.001$), and female controls (MD = 3.88, 95% CI 1.49 – 6.26, $p < 0.001$) (Figure 5 I-L). The superficial layer was also stiffer than the deep layer for male controls (MD = 3.43, 95% CI 1.35 – 5.51, $p < 0.001$), and female controls (MD = 2.81, 95% CI 0.10 – 5.52, $p = 0.030$) (Figure 5 I, K). Differences between the middle and deep layers were found only for female controls, with the deep layer showing greater stiffness compared to the middle layer (MD= 1.06, 95% CI 0.09 – 2.03, $p = 0.014$) (Figure 5 K).

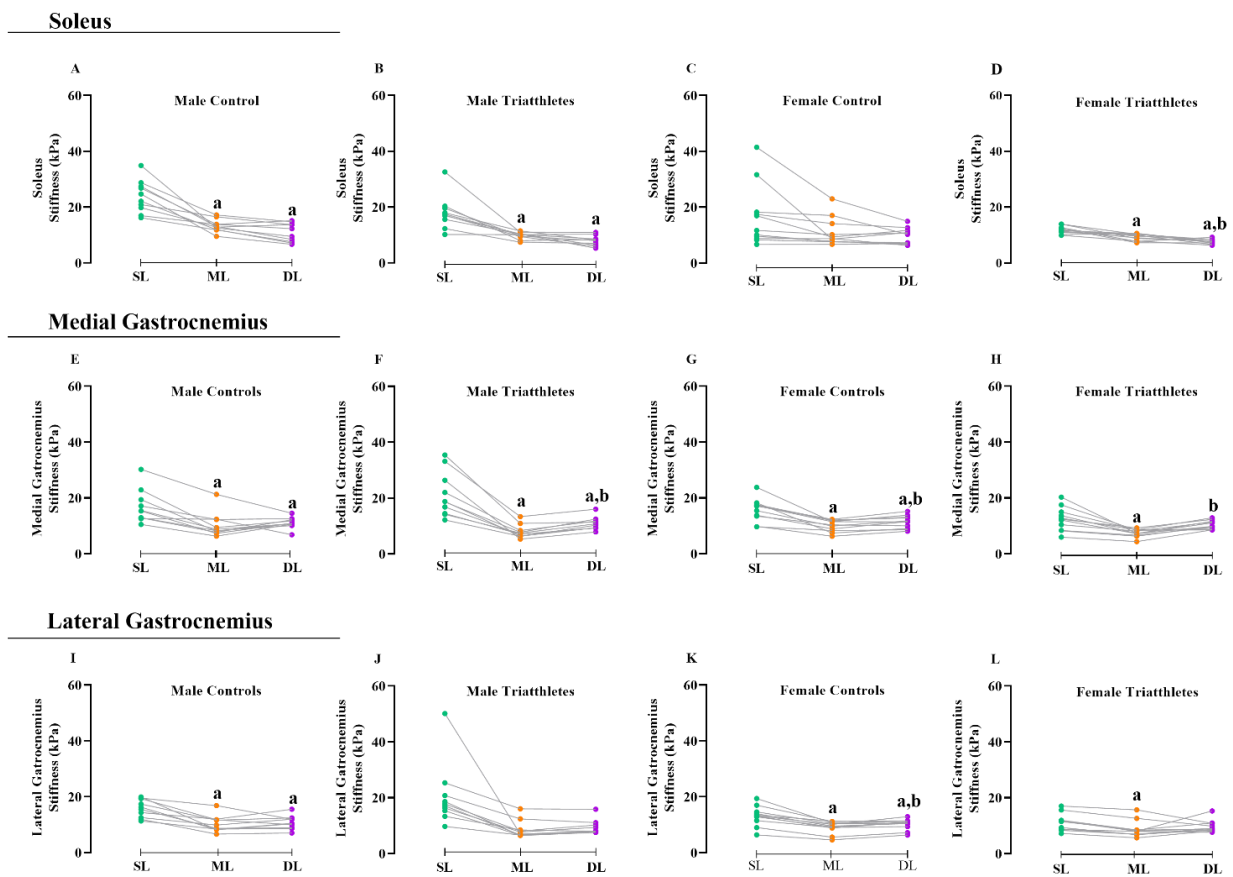


Figure 5. Within-group differences in the superficial, middle, and deep layers stiffness (kPa) of the soleus, medial gastrocnemius, and lateral gastrocnemius muscles. A, Soleus of male controls; B, Soleus of male triathletes; C, Soleus of female controls; D, Soleus of female triathletes; E, Medial gastrocnemius of male

controls; F, Medial gastrocnemius of male triathletes; G, Medial gastrocnemius of female controls; H, Medial gastrocnemius of female triathletes; I, Lateral gastrocnemius of male controls; J, Lateral gastrocnemius of male triathletes; K, Lateral gastrocnemius of female controls; L, Lateral gastrocnemius of female triathletes. SL, Superficial layer; ML, Middle layer; DL, Deep layer. a, Significant difference of superficial layer ($p < 0.05$); b, Significant difference of middle layers ($p < 0.05$).

DISCUSSION

In this study, we investigated the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles in triathletes compared to healthy, physically active individuals. While overall stiffness showed no significant differences between groups, a more nuanced analysis revealed layer-specific variations in muscle stiffness. Male and female triathletes showed different patterns of muscle layer stiffness compared to their respective control groups. Within each group, the superficial layer generally exhibited greater stiffness than the middle and deep layers across all muscles studied. The practice of triathlon does not appear to alter overall Achilles tendon and calf muscle stiffness, but may influence specific muscle layers differently.

Regarding the characteristics of our participants, no significant differences were found in triathlon experience, training volume, or injury history between male and female triathletes. Both groups had similar levels of experience and training intensity, with comparable reports of ankle, foot, and knee pain across groups. These findings suggest that triathlon training in this sample did not increase the risk of lower limb injuries. Additionally, no notable differences were observed between female triathletes and controls in terms of menstrual regularity, although contraceptive use did differ significantly, with triathletes predominantly using condoms. This variation in contraceptive methods

may reflect differences in health management practices, but its impact on performance and tendon stiffness remains unclear.

Our findings indicate that there were no significant differences in the overall stiffness of the Achilles tendon and calf muscles between triathletes and physically active participants. These results are consistent with recent research in the field. For instance, Sukanen et al., (2024) studied athletes from various sports, including soccer, ice hockey, basketball, track and field, and gymnastics, and found no statistically significant differences in Achilles tendon and calf muscle stiffness across most variables, such as lower limb injury history, sports specialization, sex, and leg dominance. Similarly, Avrillon et al., (2020) compared elite athletes from diverse sports (including sprint running, figure skating, fencing, field hockey, taekwondo, basketball, and soccer) to healthy active controls. They found no differences in stiffness for the semitendinosus and biceps femoris muscles, further supporting our observation that overall muscle stiffness may not significantly vary across different athletic modalities.

These results suggest that high-intensity, long-duration physical activities like triathlon may not significantly increase the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles. In contrast, sports involving jumping, directional changes, and explosive movements tend to enhance stiffness in these structures. Römer et al., (2023) and Sacks et al., (2021), demonstrated that sports like volleyball, handball, and tennis, which involve high-impact loads and mechanical tension, increase the stiffness of the Achilles tendon and gastrocnemius muscle. They evaluated these structures passively in positions similar to those used in our study. The higher impact loads and mechanical tension in these sports likely contribute to the increased stiffness. Conversely, endurance activities may maintain or reduce Achilles tendon

stiffness, as observed by Fouré et al., (2022), and Gonzalez et al., (2024) in long-distance runners. This suggests that lower tendon stiffness might be advantageous for sports involving prolonged running.

Regardless of the study group, we did not find significant differences in the stiffness of the Achilles tendon and calf muscles between sexes. These results corroborate with previous studies, such as those by Avrillon et al., (2020), and Wakker et al., (2018), which also found no differences in Achilles tendon stiffness between men and women. Similarly, Chino & Takahashi., (2016) and, Sukanen et al., (2024) reported no significant differences in the stiffness of the gastrocnemius muscles when comparing male and female athletes from various sports, as well as healthy adults. It is suggested that women may exhibit greater elasticity in some muscles and tendons due to hormonal variations (Souron et al., 2016). Female hormones may influence the morphology of tendons and muscles during the menstrual cycle, particularly around the days immediately before and after menstruation (Sakamaki-Sunaga et al., 2016, Oosthuysen & Bosch, 2010). Our study controlled for the menstrual cycle phase of the female participants by conducting assessments outside this period, which may explain the lack of significant differences in stiffness between sexes in our findings.

Our study showed significant interactions between groups and muscle layers, with notable differences between triathletes and healthy controls, as well as among the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles. These findings align with the heterogeneous arrangement of muscle fibers reported by Gillies & Lieber, (2011), which results in varying mechanical properties across muscle layers. The observed differences in muscle stiffness can be attributed to the distinct morphology of each layer: the superficial layer consists of longer, thinner fibers, while the deep layer contains shorter and thicker fibers (Csapo et al., 2020b). Additionally, the composition and organization of the muscle

membranes (epimysium, perimysium, and endomysium) contribute to these variations. The epimysium, rich in rigid type I collagen, contrasts with the more flexible type III collagen found in the perimysium and endomysium (McLoon et al., 2018). This structural diversity may explain the higher stiffness values observed in superficial layers compared to middle and deep layers, highlighting the complex relationship between muscle architecture and mechanical properties (Csapo et al., 2020b; Kjær, 2004b).

Several studies have shown that tendons affected by tendinopathy typically exhibit lower stiffness compared to healthy tendons due to structural and degenerative changes (Atik et al., 2024; Chen et al., 2022; Romero et al., 2020). However, our findings, which show no statistically significant differences in overall Achilles tendon and calf muscle stiffness between triathletes and controls, suggest that triathlon, despite its high-intensity and high-volume nature, does not negatively impact tendon stiffness.

Our study is pioneer in using SWE to assess muscle stiffness across 30 ROIs of 3 mm, distributed in the superficial, middle, and deep layers, revealing significant differences between groups and providing valuable insights into muscle and tendon adaptations to training. This innovative method can be applied in various contexts in future studies, such as investigating stiffness distribution in different muscle regions during maximal voluntary contractions (MVC) at various ankle angles, or evaluating stiffness changes following acute overloads, like intense training, and chronic overloads, such as at the end of the season, as indicated in previous studies (Avrillon et al., 2020; Dirrichs et al., 2019; Domenichini et al., 2017; Siu et al., 2016; Sukanen et al., 2024).

Another significant advancement was the evaluation of triathletes of both sexes using SWE, as most previous studies with athletes focused on more homogeneous and predominantly male

populations. This study controlled the menstrual cycle of the female participants, ensuring that assessments were not conducted five days before, during, or five days after the menstrual period in eumenorrheic women (Oosthuyse & Bosch, 2010; Sakamaki-Sunaga et al., 2016). This represents a notable improvement, considering the limited knowledge of how different sports affect the female body. Studies by Avrillon et al., (2020) and McLoon et al., (2018) emphasize the importance of considering sex differences when evaluating tissue adaptations in athletes.

Some limitations should be acknowledged. The US equipment that was used has a limited stiffness measurement range (0–300 kPa). For some participants, we reached this upper limit in several ROIs, suggesting that the actual stiffness may have exceeded the maximum measurable value. Additionally, our triathlon sample was diverse in terms of race type (sprint, Olympic, 70.3, and Ironman), training volume, and other specific variables. While reflective of the broader triathlon population, this heterogeneity may have introduced variability in our results. Similar challenges in sample composition have been noted by Siu et al., (2016).

Longitudinal studies that evaluate participants at different training phases, such as post-competition and after acute intense training sessions, and assess tendon and muscle stiffness in various ankle positions, including relaxed, dorsiflexed at 90°, and during maximal voluntary isometric contraction, are essential to understanding the nuanced acute and chronic adaptations in triathletes (Avrillon et al., 2020; Siu et al., 2016). These assessments are essential because tendon and muscle stiffness can vary significantly depending on the training phase and ankle position, providing valuable insights into the athlete's readiness and injury risk (Payne et al., 2018; Sukanen et al., 2024). Additionally, assessing athletes with varied training profiles and race types to clarify their influence on

tissue stiffness. Future studies could also focus on the association between muscle stiffness and injury incidence, using SWE as a continuous monitoring tool during training and competition cycles.

CONCLUSION

Our results indicate that triathlon practice may not lead to significant differences in overall tissue stiffness compared to other types of physical activity. However, a detailed analysis of the muscle layers revealed important differences between the superficial, middle, and deep layers of the calf muscles. These findings highlight the importance of a segmented approach in muscle assessment using SWE, providing an understanding of specific adaptations to different physical stimuli, such as triathlon.

FUNDING

We are grateful for financial support from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) (Finance Code 001), Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) (grant number 00193.00000773/2021-72, 00193-00001261/2021-23; 00193.00000859/2021-3; 00193-00002357/2022-90; 00193.00001222/2021-26), the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; process numbers 309435/2020-0 and 310269/2021), and the Decanato de Pós-Graduação (grant DPG No. 0007/2022, 0010/2023 and 005/2024).

ACKNOWLEDGEMENTS

We sincerely thank the triathletes and volunteers who contributed to our study. Gratitude is also extended to all members of the Muscle-Tendon Plasticity Group (LaPlast) and the Molecular Analysis

Laboratory (LAM) at UnB Ceilândia for their support during data collection and other stages of this study.

REFERENCES

1. Aicale, R., Oliviero, A., & Maffulli, N. (2020). Management of Achilles and patellar tendinopathy: what we know, what we can do. *Journal of Foot and Ankle Research*, *13*(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00418-8>
2. Althoff, A. D., Vance, K., Plain, M., Reeves, R. A., Pierce, J., Gwathmey, F. W., & Werner, B. C. (2024). Evaluation of Achilles Tendon Stiffness as Measured by Shear Wave Elastography in Female College Athletes Compared With Nonathletes. *Sports Health*, *16*(1), 12–18. <https://doi.org/10.1177/19417381231153657>
3. Alves, C., Mendes, D., & Marques, F. B. (2019). Fluoroquinolones and the risk of tendon injury: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Pharmacology*, *75*(10), 1431–1443. <https://doi.org/10.1007/s00228-019-02713-1>
4. Arampatzis, A., Karamanidis, K., & Albracht, K. (2007). Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *Journal of Experimental Biology*, *210*(15), 2743–2753. <https://doi.org/10.1242/jeb.003814>
5. Arya, S., & Kulig, K. (2010). Tendinopathy alters mechanical and material properties of the Achilles tendon. *Journal of Applied Physiology*, *108*(3), 670–675. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00259.2009/ASSET/IMAGES/LARGE/ZDG0011088670003.JPEG>
6. Atik, I., Atik, S., & Gul, E. (2024). Diagnostic value of Achilles tendon shear wave elastography in patients with ankylosing spondylitis: A case–control study. *Journal of Clinical Ultrasound*, *52*(6), 731–736. <https://doi.org/10.1002/jcu.23699>
7. Avrillon, S., Lacourpaille, L., Hug, F., Le Sant, G., Frey, A., Nordez, A., & Guilhem, G. (2020). Hamstring muscle elasticity differs in specialized high-performance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *30*(1), 83–91. <https://doi.org/10.1111/sms.13564>
8. Biewener, A. A., & Roberts, T. J. (2000). Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: a comparative perspective. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *28*(3), 99–107.
9. CBTRI - Confederação Brasileira de Triathlon. (2018). *Riscos*.
10. Charles, J., Kissane, R., Hoehfurtner, T., & Bates, K. T. (2022). From fibre to function: are we accurately representing muscle architecture and performance? *Biological Reviews*, *97*(4), 1640–1676. <https://doi.org/10.1111/brv.12856>
11. Chen, L., Cheng, Y., Zhou, L., Zhang, L., & Deng, X. (2022). Quantitative shear wave elastography compared to standard ultrasound (qualitative B-mode grayscale sonography and quantitative power Doppler) for evaluation of achillotendinopathy in treatment-naïve individuals: A cross-sectional study. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, *31*(8), 847–854. <https://doi.org/10.17219/acem/147878>
12. Chino, K., & Takahashi, H. (2015). The association of muscle and tendon elasticity with passive joint stiffness: In vivo measurements using ultrasound shear wave elastography. *Clinical Biomechanics*, *30*(10), 1230–1235. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.07.014>

13. Chino, K., & Takahashi, H. (2016). Measurement of gastrocnemius muscle elasticity by shear wave elastography: association with passive ankle joint stiffness and sex differences. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 823–830. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3339-5>
14. Cianforlini, M., Ulisse, S., Coppa, V., Grassi, M., Rotini, M., & Gigante, A. (2018). Can elastosonography be useful in improving diagnosis and prognosis of acute muscle injuries? *Joints*, 6(2), 116–121. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1660814>
15. Crawford, S. K., Thelen, D., Yaakey, J. M., Heiderscheit, B. C., Wilson, J. J., & Lee, K. S. (2023). Regional shear wave elastography of Achilles tendinopathy in symptomatic versus contralateral Achilles tendons. *European Radiology*, 33(1), 720–729. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08957-3>
16. Csapo, R., Gumpenberger, M., & Wessner, B. (2020a). Skeletal Muscle Extracellular Matrix – What Do We Know About Its Composition, Regulation, and Physiological Roles? A Narrative Review. Em *Frontiers in Physiology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00253>
17. Csapo, R., Gumpenberger, M., & Wessner, B. (2020b). Skeletal Muscle Extracellular Matrix – What Do We Know About Its Composition, Regulation, and Physiological Roles? A Narrative Review. Em *Frontiers in Physiology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00253>
18. Dantas, L. O., Vieira, A., Junior, A. L. S., Salvini, T. F., & Durigan, J. L. Q. (2015). Comparison between the effects of 4 different electrical stimulation current waveforms on isometric knee extension torque and perceived discomfort in healthy women. *Muscle and Nerve*, 51(1), 76–82. <https://doi.org/10.1002/mus.24280>
19. Dirrichs, T., Schradang, S., Gatz, M., Tingart, M., Kuhl, C. K., & Quack, V. (2019). Shear Wave Elastography (SWE) of Asymptomatic Achilles Tendons: A Comparison Between Semiprofessional Athletes and the Nonathletic General Population. *Academic Radiology*, 26(10), 1345–1351. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.12.014>
20. Domenichini, R., Pialat, J. B., Podda, A., & Aubry, S. (2017). Bases physiques de l'élastographie et applications au tendon calcanéen normal et pathologique. *Medecine et Chirurgie du Pied*, 33(1), 7–14. <https://doi.org/10.1007/s10243-017-0454-x>
21. Dumke, C. L., Pfaffenroth, C. M., McBride, J. M., & McCauley, G. O. (2010). Relationship Between Muscle Strength, Power and Stiffness and Running Economy in Trained Male Runners. Em *International Journal of Sports Physiology and Performance* (Vol. 5).
22. Elliott, K. J., Cable, N. T., Reilly, T., & Diver, M. J. (2003). Effect of menstrual cycle phase on the concentration of bioavailable 17- β oestradiol and testosterone and muscle strength. *Clinical Science*, 105(6), 663–669. <https://doi.org/10.1042/CS20020360>
23. Elliott-Sale, K. J., Minahan, C. L., de Jonge, X. A. K. J., Ackerman, K. E., Sipilä, S., Constantini, N. W., Lebrun, C. M., & Hackney, A. C. (2021). Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for

- Research on Women. *Sports Medicine*, 51(5), 843–861. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01435-8>
24. Esposito, M., Wannop, J. W., & Stefanyshyn, D. J. (2022). Effects of midsole cushioning stiffness on Achilles tendon stretch during running. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07719-x>
 25. Feletti, F., Saini, G., Naldi, S., Casadio, C., Mellini, L., Feliciani, G., & Zamprogno, E. (2022). Injuries in Medium to Long-Distance Triathlon: A Retrospective Analysis of Medical Conditions Treated in Three Editions of the Ironman Competition. *Journal of Sports Science and Medicine*, 21(1), 58–67. <https://doi.org/10.52082/JSSM.2022.58>
 26. Fletcher, J. R., & MacIntosh, B. R. (2018a). Changes in Achilles tendon stiffness and energy cost following a prolonged run in trained distance runners. *PLoS ONE*, 13(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202026>
 27. Fletcher, J. R., & MacIntosh, B. R. (2018b). Theoretical considerations for muscle-energy savings during distance running. *Journal of Biomechanics*, 73, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.03.023>
 28. Fouré, A., Besson, T., Stauffer, E., Skinner, S. C., Bouvier, J., Féasson, L., Connes, P., Hautier, C. A., & Millet, G. Y. (2022). Sex-related differences and effects of short and long trail running races on resting muscle-tendon mechanical properties. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32(10), 1477–1492. <https://doi.org/10.1111/sms.14203>
 29. Franchi, M., Trirè, A., Quaranta, M., Orsini, E., & Ottani, V. (2007). Collagen structure of tendon relates to function. Em *TheScientificWorldJournal* (Vol. 7, p. 404–420). <https://doi.org/10.1100/tsw.2007.92>
 30. Geremia, J. M., Baroni, B. M., Bini, R. R., Lanferdini, F. J., de Lima, A. R., Herzog, W., & Vaz, M. A. (2019). Triceps Surae Muscle Architecture Adaptations to Eccentric Training. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01456>
 31. Geremia, J. M., Bobbert, M. F., Casa Nova, M., Ott, R. D., De Aguiar Lemos, F., De Oliveira Lupion, R., Frasson, V. B., & Vaz, M. A. (2015). The structural and mechanical properties of the Achilles tendon 2 years after surgical repair. *Clinical Biomechanics*, 30(5), 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.03.005>
 32. Gillies, A. R., & Lieber, R. L. (2011). Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix. Em *Muscle and Nerve* (Vol. 44, Número 3, p. 318–331). <https://doi.org/10.1002/mus.22094>
 33. Gindre, J., Takaza, M., Moerman, K. M., & Simms, C. K. (2013). A structural model of passive skeletal muscle shows two reinforcement processes in resisting deformation. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 22, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.02.007>
 34. Gonzalez, F. M., Gleason, C. A., Lee, K. S., Labid, S. A., Nazarian, L. N., Morrison, W. B., & Reiter, D. A. (2021). Shear wave elastography assessment and comparison study of the Achilles tendons in optimally conditioned asymptomatic young collegiate athletes. *Skeletal Radiology*, 50(12), 2381–2392. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03798-5>

35. Gonzalez, F. M., Gleason, C. N., Tran, A., Wasyliw, C., Risk, B. B., Faulkner, E. S., Blackmon, A. M., & Reiter, D. A. (2024). Differences in Achilles tendon mechanical properties between professional ballet dancers and collegiate athletes utilizing shear wave elastography. *Skeletal Radiology*, 53(7), 1381–1388. <https://doi.org/10.1007/s00256-024-04564-z>
36. Ishika Chauhan, & Priyanka Telang. (2022). ELASTOGRAPHY IN TA TIGHTNESS TO EVALUATE MUSCLE PHYSIOLOGY – A DIAGNOSTIC APPROACH. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 3424–3428. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.s06.457>
37. ITU - INTERNATIONAL TRIATHLON UNION. (2022). *No Title*. <https://www.triathlon.org>.
38. Järvinen, T. A. H., Kannus, P., Maffulli, N., & Khan, K. M. (2005). Achilles tendon disorders: Etiology and epidemiology. *Foot and Ankle Clinics*, 10(2), 255–266. <https://doi.org/10.1016/J.FCL.2005.01.013>
39. Kennedy, M. D., Knight, C. J., Falk Neto, J. H., Uzzell, K. S., & Szabo, S. W. (2020). Futureproofing triathlon: Expert suggestions to improve health and performance in triathletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13102-019-0153-5>
40. Kjær, M. (2004a). Role of Extracellular Matrix in Adaptation of Tendon and Skeletal Muscle to Mechanical Loading. Em *Physiological Reviews* (Vol. 84, Número 2, p. 649–698). <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2003>
41. Kjær, M. (2004b). Role of Extracellular Matrix in Adaptation of Tendon and Skeletal Muscle to Mechanical Loading. Em *Physiological Reviews* (Vol. 84, Número 2, p. 649–698). <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2003>
42. Kovács, B., Kóbor, I., Gyimes, Z., Sebestyén, Ö., & Tihanyi, J. (2020). Lower leg muscle–tendon unit characteristics are related to marathon running performance. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73742-5>
43. Kubo, K., Tabata, T., Ikebukuro, T., Igarashi, K., Yata, H., & Tsunoda, N. (2010). Effects of mechanical properties of muscle and tendon on performance in long distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 110(3), 507–514. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1528-1>
44. Kvist, M. (1994). Achilles Tendon Injuries in Athletes. *Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise*, 18(3), 173–201. <https://doi.org/10.2165/00007256-199418030-00004>
45. Lepley, A. S., Joseph, M. F., Daigle, N. R., Digiacomio, J. E., Galer, J., Rock, E., Rosier, S. B., & Sureja, P. B. (2018). *SEX DIFFERENCES IN MECHANICAL PROPERTIES OF THE ACHILLES TENDON: LONGITUDINAL RESPONSE TO REPETITIVE LOADING EXERCISE*. www.nscs.com
46. Li, H. Y., & Hua, Y. H. (2016). Achilles Tendinopathy: Current Concepts about the Basic Science and Clinical Treatments. *BioMed Research International*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6492597>
47. Li, L., Wu, K., Deng, L., Liu, C., & Fu, W. (2023). The Effects of Habitual Foot Strike Patterns on the Morphology and Mechanical Function of the Medial Gastrocnemius–Achilles Tendon Unit. *Bioengineering*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020264>

48. Lima, K., Martins, N., Pereira, W., & Oliveira, L. (2017). 67. Triceps surae elasticity modulus measured by shear wave elastography is not correlated to the plantar flexion torque. El módulo de elasticidad del tríceps sural medido por elastografía de ondas de corte no se correlaciona con el torque de flexión plan. *Muscles, ligaments and tendons journal*, 7(2), 347–352. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29264348/>
49. Lindemann, I., Coombes, B. K., Tucker, K., Hug, F., & Dick, T. J. M. (2020). Age-related differences in gastrocnemii muscles and Achilles tendon mechanical properties in vivo. *Journal of Biomechanics*, 112, 110067. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2020.110067>
50. Maćkała, K., Mroczek, D., Chmura, P., Konefał, M., Pawlik, D., Chmura, J., Sereżyński, R., Wyciszkievicz, M., Nowicka-Czudak, A., Łopusiewicz, W., Chromik, K., Adamiec, D., Ponikowski, P., & Ponikowska, B. (2021). *Jozef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw Faculty in Biala Podlaska*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-844791/v1>
51. Maffulli, N., Kenward, M. G., Testa, V., Capasso, G., Regine, R., & King, J. B. (2003). Clinical Diagnosis of Achilles Tendinopathy With Tendinosis. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(1), 11–15. <https://doi.org/10.1097/00042752-200301000-00003>
52. Magnusson, S., Aagaard, P., Rosager, S., Dyhre-Poulsen, P., & Kjaer, M. (2001). *The force from muscle contraction*.
53. Magnusson, S. P., Langberg, H., & Kjaer, M. (2010). The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nature Reviews Rheumatology*, 6(5), 262–268. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2010.43>
54. Martin, R. L., Chimenti, R., Cuddeford, T., Houck, J., Matheson, J. W., McDonough, C. M., Paulseth, S., Wukich, D. K., & Carcia, C. R. (2018). Achilles pain, stiffness, and muscle power deficits: Midportion achilles tendinopathy revision 2018. Em *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol. 48, Número 5, p. A1–A38). Movement Science Media. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.0302>
55. McHardy, A., Pollard, H., & Fernandez, M. (2006). Triathlon injuries: A review of the literature and discussion of potential injury mechanisms. *Clinical Chiropractic*, 9(3), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.clch.2006.04.001>
56. McLoon, L. K., Vicente, A., Fitzpatrick, K. R., Lindström, M., & Pedrosa Domellöf, F. (2018). Composition, architecture, and functional implications of the connective tissue network of the extraocular muscles. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 59(1), 322–329. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23003>
57. McMahan, G., & Cook, J. (2024). Female Tendons are from Venus and Male Tendons are from Mars, But Does it Matter for Tendon Health? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02056-7>
58. Meyer, G. A., & Lieber, R. L. (2011). Elucidation of extracellular matrix mechanics from muscle fibers and fiber bundles. *Journal of Biomechanics*, 44(4), 771–773. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.10.044>

59. Mifsud, T., Gatt, A., Micallef-Stafrace, K., Chockalingam, N., & Padhiar, N. (2023). Elastography in the assessment of the Achilles tendon: a systematic review of measurement properties. Em *Journal of Foot and Ankle Research* (Vol. 16, Número 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13047-023-00623-1>
60. Migliorini, S. (2020). Triathlon Medicine. Em *Triathlon Medicine*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1>
61. Oosthuysen, T., & Bosch, A. N. (2010). The Effect of the Menstrual Cycle on Exercise Metabolism. *Sports Medicine*, 40(3), 207–227. <https://doi.org/10.2165/11317090-000000000-00000>
62. Paluch, Ł., Nawrocka-Laskus, E., Wieczorek, J., Mruk, B., Frel, M., & Walecki, J. (2016). Use of ultrasound elastography in the assessment of the musculoskeletal system. Em *Polish Journal of Radiology* (Vol. 81, p. 240–246). Medical Science International. <https://doi.org/10.12659/PJR.896099>
63. Payne, C., Watt, P., & Webborn, N. (2018). Shear wave elastography measures of the Achilles Tendon: Influence of time of day, leg dominance and the impact of an acute 30-minute bout of running. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/app8071170>
64. Pentidis, N., Mersmann, F., Bohm, S., Giannakou, E., Aggelousis, N., & Arampatzis, A. (2020). Effects of long-term athletic training on muscle morphology and tendon stiffness in preadolescence: association with jump performance. *European Journal of Applied Physiology*, 120(12), 2715–2727. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04490-7>
65. Piacentini, M. F., Vleck, V., & Lepers, R. (2019). Effect of age on the sex difference in Ironman triathlon performance. *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite*, 104, 21–27. <https://doi.org/10.1051/sm/2019030>
66. Prado-Costa, R., Rebelo, J., Monteiro-Barroso, J., & Preto, A. S. (2018). Ultrasound elastography: compression elastography and shear-wave elastography in the assessment of tendon injury. Em *Insights into Imaging* (Vol. 9, Número 5, p. 791–814). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0642-1>
67. Rhind, J. H., Dass, D., Barnett, A., & Carmont, M. (2022). A Systematic Review of Long-Distance Triathlon Musculoskeletal Injuries. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 123–134. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0011>
68. Römer, C., Legerlotz, K., Czupajllo, J., Fischer, T., Wolfarth, B., & Lerchbaumer, M. H. (2023). Acute Effects of Running on Shear Wave Elastography Measures of the Achilles Tendon and Calf Muscles in Professional Female Handball and Volleyball Players. *Diagnostics*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13182957>
69. Romero, E. A. S., Pollet, J., Pérez, S. M., Pérez, J. L. A., Fernández, A. C. M., Pedersini, P., Carballar, C. B., & Villafañe, J. H. (2020). Lower limb tendinopathy tissue changes assessed through ultrasound: A narrative review. Em *Medicina (Lithuania)* (Vol. 56, Número 8, p. 1–11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/medicina56080378>

70. Sacks, C. D., Gallo, R. A., Kong, L., & Cortes, D. H. (2021). Identifying differences in elastographic properties of calf muscles and tendons across subsets of tennis players. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, *11*(2), 292–300. <https://doi.org/10.32098/mltj.02.2021.12>
71. Sakamaki-Sunaga, M., Min, S., Kamemoto, K., & Okamoto, T. (2016). Effects of Menstrual Phase–Dependent Resistance Training Frequency on Muscular Hypertrophy and Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(6), 1727–1734. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001250>
72. Santana, L., Fachin-Martins, E., Borges, D. L., Tenório Cavalcante, J. G., Babault, N., Neto, F. R., Quagliotti Durigan, J. L., & Marqueti, R. de C. (2022). Neuromuscular disorders in women and men with spinal cord injury are associated with changes in muscle and tendon architecture. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/10790268.2022.2035619>
73. Scott, I., Malliaras, P., Tardioli, A., Hales, S., Morrissey, D., Migliorini, F., & Maffulli, N. (2022). Achilles tendon thickness reduces immediately after a marathon. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *17*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03448-z>
74. Siu, W. lam, Chan, C. ho, Lam, C. hei, Lee, C. man, & Ying, M. (2016). Sonographic evaluation of the effect of long-term exercise on Achilles tendon stiffness using shear wave elastography. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *19*(11), 883–887. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.02.013>
75. Sleboda, D. A., Stover, K. K., & Roberts, T. J. (2020). Diversity of extracellular matrix morphology in vertebrate skeletal muscle. *Journal of Morphology*, *281*(2), 160–169. <https://doi.org/10.1002/jmor.21088>
76. Souron, R., Bordat, F., Farabet, A., Belli, A., Feasson, L., Nordez, A., & Lapole, T. (2016). Sex differences in active tibialis anterior stiffness evaluated using supersonic shear imaging. *Journal of Biomechanics*, *49*(14), 3534–3537. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.08.008>
77. Spiker, A. M., Dixit, S., & Cosgarea, A. J. (2012). Triathlon: Running injuries. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, *20*(4), 206–213. <https://doi.org/10.1097/JSA.0B013E31825CA79F>
78. Statista Research Department. (2022). *Triathlon participation in the U.S. 2010-2021*. 05/10. <https://www.statista.com/statistics/191339/participants-in-triathlons-in-the-us-since-2006/>
79. Sukanen, M., Khair, R. M., Ihalainen, J. K., Laatikainen-Raussi, I., Eon, P., Nordez, A., & Finni, T. (2024). Achilles tendon and triceps surae muscle properties in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *124*(2), 633–647. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05348-4>
80. Taş, S., & Salkın, Y. (2019). An investigation of the sex-related differences in the stiffness of the Achilles tendon and gastrocnemius muscle: Inter-observer reliability and inter-day repeatability and the effect of ankle joint motion. *Foot*, *41*, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2019.09.003>
81. Teepker, M., Peters, M., Vedder, H., Schepelmann, K., & Lautenbacher, S. (2010). Menstrual variation in experimental pain: Correlation with gonadal hormones. *Neuropsychobiology*, *61*(3), 131–140. <https://doi.org/10.1159/000279303>
82. Tenan, M. S., Hackney, A. C., & Griffin, L. (2016). Maximal force and tremor changes across the menstrual cycle. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(1), 153–160. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3258-x>

83. The IRONMAN Group. (2023). *IRONMAN Global Athletes' Choice Awards announced for 2023 IRONMAN and IRONMAN 70.3 Triathlons*. https://www.ironman.com/news_article/show/1282113.
84. Thompson, J., & Baravarian, B. (2011). Acute and Chronic Achilles Tendon Ruptures in Athletes. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 28(1), 117–135. <https://doi.org/10.1016/J.CPM.2010.10.002>
85. Tran, P. H. T., Malmgaard-Clausen, N. M., Puggaard, R. S., Svensson, R. B., Nybing, J. D., Hansen, P., Schjerling, P., Zinglarsen, A. H., Couppe, C., Boesen, M., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2020). Early development of tendinopathy in humans: Sequence of pathological changes in structure and tissue turnover signaling. *FASEB Journal*, 34(1), 776–788. <https://doi.org/10.1096/fj.201901309R>
86. Triathlon Magazine Canada. (2023). *Ironman milestones during Andrew Messick's tenure as Ironman President and CEO*. <https://triathlonmagazine.ca/personalities/ironman-milestones-during-andrew-messicks-tenure-as-ironman-president-and-ceo/>.
87. Tuite, M. J. (2010). Imaging of Triathlon Injuries. *Radiologic Clinics of North America*, 48(6), 1125–1135. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2010.07.008>
88. Ueno, H., Suga, T., Takao, K., Tanaka, T., Misaki, J., Miyake, Y., Nagano, A., & Isaka, T. (2018). Relationship between Achilles tendon length and running performance in well-trained male endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(2), 446–451. <https://doi.org/10.1111/sms.12940>
89. Vleck, V. E., Bentley, D. J., Millet, G. P., & Cochrane, T. (2010). Triathlon event distance specialization: Training and injury effects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 30–36. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bd4cc8>
90. Vleck, V. E., & Garbutt, G. (1998). Injury and training characteristics of male elite, development squad, and club triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 19(1), 38–42. <https://doi.org/10.1055/S-2007-971877/BIB>
91. Vleck, V., & Hoeden, D. (2020). Epidemiological Aspects of Illness and Injury. *Triathlon Medicine*, 19–41. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1_3
92. Vleck, V., Millet, G. P., & Alves, F. B. (2014). The impact of triathlon training and racing on Athletes' General Health. *Sports Medicine*, 44(12), 1659–1692. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0244-0>
93. Wakker, J., Kratzer, W., Graeter, T., Schmidberger, J., Heizelmann, A., Boretzki, S., Uhlemann, S., Galgenmüller, S., Stumpf, S., Schulze, J., Neuwirt, C., Emrich, B., & Jäger, H. (2018). Elasticity standard values of the Achilles tendon assessed with acoustic radiation force impulse elastography on healthy volunteers: A cross section study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2056-0>
94. Zhang, W., Liu, Y., & Zhang, H. (2021). Extracellular matrix: an important regulator of cell functions and skeletal muscle development. *Em Cell and Bioscience* (Vol. 11, Número 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13578-021-00579-4>

95. Zhang, X., Deng, L., Xiao, S., Li, L., & Fu, W. (2021). Sex differences in the morphological and mechanical properties of the achilles tendon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18178974>

IMPACTOS PRÁTICOS DOS ACHADOS PARA A SOCIEDADE

Os achados deste estudo contribuem para um entendimento mais aprofundado das adaptações musculotendíneas em triatletas de diferentes níveis de rendimento, com foco nas estruturas do tríceps sural e do tendão de Aquiles. Embora a maior parte das variáveis medidas não tenha apresentado diferenças significativas entre os grupos, os dados fornecem insights valiosos sobre as características morfológicas teciduais desses atletas e a relação com o treinamento e competições.

A utilização da elastografia por onda de cisalhamento mostrou-se uma ferramenta útil e promissora para a avaliação não invasiva das propriedades musculotendíneas, reforçando seu potencial para investigações futuras em contextos esportivos e clínicos. Essa metodologia pode ser incorporada em avaliações práticas para monitoramento de atletas, ajudando na identificação precoce de alterações que possam indicar risco de lesões.

O impacto deste trabalho, embora de abrangência local e regional, reflete a importância de investigações detalhadas em populações específicas como triatletas. A aplicabilidade dos métodos é considerada média, dado que os resultados podem ser replicados em outros contextos com recursos semelhantes. A complexidade é considerada média, pois os métodos exigem integração de conhecimentos especializados em fisiologia e morfologia musculotendínea, além de conhecimentos de ultrassonografia.

Por fim, a inovação está no uso direcionado de ferramentas diagnósticas para investigar aspectos específicos da plasticidade musculotendínea em triatletas, um tema ainda pouco

explorado. Apesar das limitações, este estudo fortalece a base científica para avanços futuros no campo da reabilitação e prevenção de lesões no esporte.

ANEXOS

1. Manuscrito Submetido

28/08/24, 07:54

Gmail - Manuscript submitted to Translational Sports Medicine



Estevão Diniz - DNZ Funcional <estevaosd7@gmail.com>

Manuscript submitted to Translational Sports Medicine

1 mensagem

Translational Sports Medicine <no-reply@atyponrex.com>
Para: Estevão Souza Diniz <estevaosd7@gmail.com>

28 de agosto de 2024 às 07:51

Dear Estevão Souza Diniz,

Your manuscript "Comparison of calf muscle and Achilles tendon stiffness between triathletes and physically active controls: A cross-sectional study using shear wave elastography" has been successfully submitted and is being delivered to the Editorial Office of *Translational Sports Medicine* for consideration.

You will receive a follow-up email with further instructions from the journal editorial office, typically within one business day. That message will confirm that the editorial office has received your submission and will provide your manuscript ID.

Thank you for submitting your manuscript to *Translational Sports Medicine*.

Sincerely,
The Editorial Staff at Translational Sports Medicine

By submitting a manuscript to or reviewing for this publication, your name, email address, and affiliation, and other contact details the publication might require, will be used for the regular operations of the publication, including, when necessary, sharing with the publisher (Wiley) and partners for production and publication. The publication and the publisher recognize the importance of protecting the personal information collected from users in the operation of these services and have practices in place to ensure that steps are taken to maintain the security, integrity, and privacy of the personal data collected and processed. You can learn more by reading our [data protection policy](#). In case you don't want to be contacted by this publication again, please send an email to tsm2.office@wiley.com.

2. Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa

FACULDADE DE CEILÂNDIA
DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 6.203.733

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos de apresentação obrigatória foram apresentados.

Recomendações:

Não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências foram atendidas.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS n.º 466, de 2012, e na Norma Operacional n.º 001, de 2013, do CNS, manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2147891.pdf	06/07/2023 00:27:00		Aceito
Outros	carta_encaminhamento_pendencias.pdf	06/07/2023 00:23:12	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Rodrigo_Scattone.pdf	04/07/2023 17:35:23	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Rita_Durigan.pdf	04/07/2023 17:35:07	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Pedro_Franz.pdf	04/07/2023 17:34:51	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Marco_Aurelio_Vaz.pdf	04/07/2023 17:34:32	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Leandro_Gomes.pdf	04/07/2023 17:34:03	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Joao_Durigan.pdf	04/07/2023 17:33:41	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Jeam_Geremia.pdf	04/07/2023 17:33:15	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Isabella_Almeida.pdf	04/07/2023 17:32:57	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Fernando_Diefenthaler.pdf	04/07/2023 17:32:32	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Lattes_Estevao_Diniz.pdf	04/07/2023 17:30:19	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Outros	Formulario_de_pesquisa.pdf	04/07/2023 17:29:10	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILÂNDIA SUL (CEILÂNDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASÍLIA
Telefone: (61)3107-8434 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

FACULDADE DE CEILÂNDIA
DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - UNB



Continuação do Parecer: 6.203.733

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_PROJETO_TRIATLON.docx	04/07/2023 17:25:52	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Triathlon_Diniz.docx	04/07/2023 17:25:27	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Cronograma	Cronograma.docx	04/07/2023 17:25:06	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	31/05/2023 11:43:57	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_concordancia_da_proponente.pdf	31/05/2023 11:43:32	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_de_responsabilidade_e_compromisso_do_pesquisador.pdf	31/05/2023 11:41:29	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	carta_encaminhprojeto_ao_cepfce.pdf	31/05/2023 11:40:07	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito
Orçamento	Planilha_de_custos.docx	29/05/2023 22:26:34	ESTEVAO SOUZA DINIZ	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BRASILIA, 27 de Julho de 2023

Assinado por:
MARIANA SODARIO CRUZ
(Coordenador(a))

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/86
Bairro: CEILANDIA SUL (CEILANDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASILIA
Telefone: (61)3107-8434 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

3. Produto de Impacto Sociocultural

Apresentamos as atividades realizadas no Laboratório de Plasticidade Músculo-Tendínea (LaPlast-UnB), localizado no Campus de Ceilândia da Universidade de Brasília, para os alunos do Centro de Ensino Médio 3, em Taguatinga, DF. Nosso objetivo foi oferecer uma demonstração clara, envolvente e acessível das pesquisas conduzidas no laboratório. A intenção por trás dessa ação foi enfatizar que a ciência é um campo democrático e inclusivo, acessível a todos os tipos de formação. A apresentação visou mostrar que a pesquisa científica pode ser transmitida de forma cativante e que todos, independentemente de seu background, têm a capacidade de se envolver e explorar o fascinante universo da ciência.



LAM

Laboratório De Análises
Moleculares



LaPlast

CERTIFICADO

de participação

certificamos que

Estevão Souza Diniz

Participou como PALESTRANTE da "1 visitação de estudantes do ensino médio ao LaPlast e LAM" com carga horária de 8 horas

Rita de Cássia Marqueti
Coordenadora do
LAM

João Luiz Q. Durigan
Coordenador do
LaPlast

Regina Recalde da Fonseca Cotrim
Professora
Responsável



4. Ministrante Curso de Extensão.





CERTIFICADO DE EXTENSÃO

Universidade de Brasília
Decanato de Extensão
Secretaria de Administração Acadêmica

Certificamos que, O(A) DISCENTE ESTEVAO SOUZA DINIZ, MATRÍCULA 222101050, participou do curso de extensão BASES FILOSÓFICAS E FISIOLÓGICAS DA MEDICINA TRADICIONAL CHINESA., promovido pelo(a) FACULDADE DE CEILÂNDIA, na função de MINISTRANTE, com 4 hora(s) de atividades desenvolvidas. A atividade foi realizada no período de 12 de Junho de 2024 a 12 de Junho de 2024.

Brasília, 26 de Agosto de 2024

OLGAMIR AMANCIA FERREIRA
Decana de Extensão

Código de verificação: **4e1b4bbc45**
Número do Documento: **1907078**

Para verificar a autenticidade deste documento acesse <https://sig.unb.br/sigaa/documentos/> e utilize o link *Extensão >> Certificado de Participante como Membro da Equipe de Ação de Extensão*, informando o número do documento, data de emissão do documento e o código de verificação.

5. Ministrante de palestra no Simpósio de Fisioterapia da UnB



6. Apresentação de trabalho no IV Seven International Congress Of Health.



IV SEVEN INTERNATIONAL
CONGRESS OF HEALTH

A Seven Publicações Ltda. certifica que:

O Resumo Expandido intitulado "**ADAPTAÇÕES MUSCULOTENDÍNEAS INDUZIDAS PELO TREINAMENTO E COMPETIÇÕES EM TRIATLETAS DE ALTO E BAIXO RENDIMENTO**", foi apresentado durante o **IV SEVEN INTERNATIONAL CONGRESS OF HEALTH** em **MODALIDADE ORAL**, organizado pela Seven Publicações Ltda. em parceria com o IEMS - Polo Itupeva - Uniassevi, nos dias 27 e 28 de maio de 2024, com uma duração de **60 horas**.

Autores: Estevão de Souza Diniz, Leandro Gomes de Jesus Ferreira, Pedro Baihy Franz, Jeam Marcel Geremia, José Roberto de Souza Júnior, Fernando Diefenthaeler, Marco Aurelio Vaz, Rodrigo Scattone da Silva, João Luiz Quagliotti Durigan e Rita de Cássia Marqueti.

Curitiba, 29 de maio de 2024.

EM PARCERIA COM:


Nathan Albano Valente
CEO Seven Publicações Ltda

POLO ITUPEVA
IEMS
Instituto Educacional Marili Sigoreto


UNIASSELVI
GRADUAÇÃO E PÓS

7. Publicação do Resumo no IV Seven International Congress Of Health



PUBLICATION DECLARATION

The Seven Publicações Ltda., registered under CNPJ 43.789.355/0001-04 in partnership with IEMS - Polo Itupeva - Uniasselvi, declares that the article "**Musculotendinous adaptations induced by training and competitions in high and low performance triathletes**" was published in the **IV SEVEN INTERNATIONAL CONGRESS OF HEALTH**.

ISBN Registration: 978-65-6109-011-7

Authors who contributed to the paper: Estevão de Souza Diniz, Pedro Bainy Franz, Leandro Gomes de Jesus Ferreira, Jean Marcel Geremia, José Roberto de Souza Júnior, Fernando Diefenthaler, Marco Aurelio Vaz, Rodrigo Scattone da Silva, João Luiz Quagliotti Durigan, Rita de Cássia Marquetti.

Publication link: <https://sevenpublicacoes.com.br/anais7/article/view/5096>

DOI: <https://doi.org/10.56238/homeIVsevenhealth-088>

I hereby confirm this declaration.

São José dos Pinhais, Brazil

July 30, 2024.

Nathan Albano Valente
Event organizer

EM PARCERIA COM:

